

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA CIVIL
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

ANTONY MURILLO COSTA
BRUNO PAULUCCI CIANGA SILVAS
RUAN REIS OJEA CASTRO

**ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE CLORO LIVRE, CLORO TOTAL,
pH E TEMPERATURA EM ALGUNS PONTOS DE CONSUMO
ABASTECIDOS PELA REDE PÚBLICA DE DISTRIBUIÇÃO NA
CIDADE DE CURITIBA/PR**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA
2015

**ANTONY MURILLO COSTA
BRUNO PAULUCCI CIANGA SILVAS
RUAN REIS OJEA CASTRO**

**ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE CLORO LIVRE, CLORO TOTAL,
pH E TEMPERATURA EM ALGUNS PONTOS DE CONSUMO
ABASTECIDOS PELA REDE PÚBLICA DE DISTRIBUIÇÃO NA
CIDADE DE CURITIBA/PR**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Civil, da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná, Campus
Curitiba.

Orientador: Prof. Dr. Flavio Bentes Freire

CURITIBA

2015

A todos e tudo que amamos.

AGRADECIMENTOS

Nos é difícil recordar todas as pessoas que nos ajudaram, direta e indiretamente, durante essa extensa e complicada jornada, então citamos as pessoas que estiveram mais presentes durante todo esse período e que contribuíram profundamente na conclusão desse trabalho, mas é claro, não desmerecendo os não citados, que por menor que seja a sua contribuição ela foi de extrema importância, seja na forma de uma dúvida, um conselho, um gesto de apoio, nós devemos a todos o nosso obrigado.

Ao orientador, Flávio Bentes Freire, pelas dicas, livros, conversas, puxões de orelha e tudo mais que foi necessário para a conclusão deste trabalho, inclusive trabalhar nas férias acadêmicas.

Aos professores da banca avaliadora, Karina Querne de Carvalho e Fernando Hermes Passig, pelas críticas e orientações durante as correções deste trabalho.

Aos nossos pais, Antonio e Vanderlene Costa, Roberto e Suzete Reis, Edson e Sueli Silvas, por todo o amor e paciência que nos dispensaram. A todos os nossos parentes, irmãos, irmãs, primos, avós pelo apoio e compreensão.

As nossas namoradas, Ana Paula, Karinne Akemi e Tatiane pela dedicação e paciência com nosso extenso, trabalhoso e “tomador de tempo” trabalho. A todos os amigos e colegas, por apoiar a ideia e promover encontros para descontrair, mesmo sem entender nada do trabalho.

As professoras Janine Nicolosi Correa e Kátia Elissa Pruss Pinho, por tirarem algumas de nossas dúvidas cruciais no final de nossa jornada.

Aos funcionários do Laboratório de Saneamento do DACOC, todos os técnicos, bolsistas e estagiários, pela ajuda na calibração dos equipamentos.

Aos cobradores de ônibus, URBS, comerciantes, frentistas, gerentes e todos aqueles que permitiram nossas medições em campo.

Aos professores do DACOC e colegas de curso, pela ajuda e conhecimento repassado e a universidade UTFPR, pela oportunidade de fazer parte de um ótimo grupo de pesquisadores e o reconhecimento que nos é dispensado.

E enfim, a todos aqueles que de alguma maneira ajudaram neste trabalho.

“A vida é um paraíso, mas os homens não o sabem e não se preocupam em sabê-lo.”

Fiódor Mikhailovich Dostoiévski

“A ciência nunca resolve um problema sem criar pelo menos outros dez.”

George Bernard Shaw

RESUMO

COSTA, Antony M.; SILVAS, Bruno P. C.; CASTRO, Ruan R. O. **Análise da concentração de cloro livre, cloro total, pH e temperatura em alguns pontos de consumo abastecidos pela rede pública de distribuição na cidade de Curitiba/pr.** 2015. 91f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

Os sistemas de tratamento e distribuição de água utilizam o cloro e seus derivados nas estações de tratamento para desinfecção da água, entretanto na rede de distribuição pode ocorrer contato com impurezas que contaminariam a água distribuída com organismos que podem provocar problemas de saúde aos usuários. Sendo assim, torna-se necessário manter um residual de cloro livre para garantir a potabilidade e a ausência de patógenos em todos os pontos de consumo, mas o cloro livre, ao entrar em contato com as substâncias presentes nas tubulações, reage e decai sua concentração ao longo do sistema, além disso, na legislação vigente não é permitido uso excessivo de cloro, pois esse pode ser prejudicial à saúde dos usuários pelo consumo constante. Sendo assim, mediu-se em alguns pontos da rede de abastecimento de água da cidade de Curitiba/PR as quantidades de cloro livre e total presentes na água, bem como o pH e a temperatura, para verificação do atendimento a legislação em vigor. Nas medições, utilizou-se um fotômetro para medir a concentração de cloro livre e total, pHmêtro portátil para pH e um termômetro para temperatura do líquido. Verificou-se com medições semanais, em 12 pontos da cidade de Curitiba, durante 19 semanas, em 4 bairros, atendidos pelas estações de tratamento de água Iguaçu e Passaúna, que nos pontos analisados na cidade de Curitiba, a Companhia de Saneamento Básico atende as premissas da Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011, com concentração média de cloro residual livre de $0,97 \pm 0,04$ mg/L, dentro da faixa de 0,2 a 2 mg/L normativos, e pH $6,9 \pm 0,2$, respeitando o intervalo recomendado pelo Ministério da Saúde de 6 a 9,5. Para análise dos resultados, utilizou-se a teoria dos erros, inclusive com comparações entre os pontos, bairros e estações, a fim de verificar as diferenças referentes a tratamento, decaimento e atendimento da Portaria MS nº 2914/2011, com este tratamento dos dados percebeu-se o decaimento do cloro livre entre alguns pontos, sentidos de fluxo diferentes do estimado preliminarmente, pH e teor de cloro livre e total diferentes entre pontos abastecidos por estações distintas de tratamento, dentre as analisadas. Porém, observaram-se dificuldades nas análises referentes a decaimento, correlação do pH ou temperatura com teor de cloro livre na rede, por falta de informação sobre a rede de abastecimento existente e principalmente pela falta de dados relativos a quantidade de produtos químicos dosados na Estação e qualidade de água bruta do período de coleta, além de informações operacionais da Companhia que seriam vitais para análise de decaimento e correlação do pH com teor de cloro livre.

Palavras-chave: Cloro Livre. Desinfecção. Redes de Distribuição de Água. Padrão de Potabilidade.

ABSTRACT

COSTA, Antony M.; SILVAS, Bruno P. C.; CASTRO, Ruan R. O. **Analysis of free chlorine concentration, total chlorine concentration, pH and temperature at some points of consumption supplied by public distribution network in Curitiba/PR.** 2015. 91f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2015.

The systems of treatment and distribution of water use chlorine and derivatives in treatment plants to disinfect water, however in the distribution network can occur contact with impurities that could contaminate the water distributed with organisms who can cause health problems for users. Therefore, it's necessary to maintain a free residual chlorine to ensure potability and the absence of pathogens in all points of consumption, but the free chlorine, on contact with the substances present in the pipes, reacts and decays concentration throughout the system, in addition, in the current legislation isn't allowed excessive use of chlorine, as this may be harmful to the health of users by constant consumption. So was measured at some points of the water supply network of the city of Curitiba / PR the free and total chlorine amounts present in water, as the pH and temperature, to verify compliance with the legislation in charge. In the measurements, is used a photometer to measure the concentration of free and total chlorine, phmeter for pH and a thermometer for fluid temperature. Occurred with weekly measurements, on 12 points in the city of Curitiba, for 19 weeks, in 4 neighborhoods, served by water treatment plants of Iguaçu and Passaúna, which this analyzed points in the city of Curitiba, the Basic Sanitation Company meets the premises of the Ministry of Health ordinance n^o2914/2011, with an average concentration of free residual chlorine of 0.97 ± 0.04 mg/L, within the normative range of 0.2 to 2 mg/L, and pH $6.9 \pm 0,2$, respecting the range recommended by the Ministry of Health from 6 to 9.5. For data analysis, it has used the theory of errors, including comparisons between points, regions and treatment stations in order to verify the differences related to the treatment, decay and attendance of ordinance MS 2914/2011. With this process noticed that the decay of free chlorine between some points, different flow directions of the estimated preliminarily, pH, free and total chlorine content different between points served by different treatment plants, among the analyzed. However, there were difficulties in the analysis relative to decay, correlations of pH and temperature with free chlorine content in network, for lack of information about the existing supply network and mainly by the lack of data on the amount of chemicals measured in station and raw water quality in the collection period, as the operational informations about the Company that would be vital to decay analysis and correlations between pH and free chlorine content.

Keywords: Free Chlorine. Disinfection. Water Distribution Network. Potability Standards.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Cadeia produtiva do cloro e da soda.....	21
Figura 2 - Estágios de cloração.....	32
Figura 3 - Mananciais de abastecimento da região metropolitana de Curitiba.....	36
Figura 4 - Planta geral do sistema de abastecimento separado por sistema produtor.....	37
Figura 5 - Planta geral do sistema de abastecimento – principais unidades e interligações.....	38
Figura 6 - Vista aérea da ETA Passaúna.	42
Figura 7 - Planta Geral do Sistema do Passaúna - Principais unidades componentes do Sistema.	42
Figura 8 - Vista aérea ETA Iguaçu.	43
Figura 9 - Reservatório do Portão..	44
Figura 10 - Reservatório do Batel.....	45
Figura 11 - Reservatório do São Braz.	45
Figura 12 - Reservatório do Campo Comprido. Fonte: Google (2014).	46
Figura 13 - Distribuição dos pontos de medição e reservatório - bairro Portão.	53
Figura 14 - Distribuição dos pontos de medição e reservatório - bairro Batel.....	54
Figura 15 - Distribuição dos pontos de medição e reservatório - bairro São Braz.....	55
Figura 16 - Distribuição pontos de medição e reservatório - bairro Campo Comprido.	55
Figura 17 - Equipamento para análise de cloro residual e total.	57
Figura 18 - Termômetro tipo espeto INCOTERM.	59
Figura 19 - Equipamento para análise de pH.	60
Figura 21 - Esquema dos Bairros Analisados.....	66
Figura 22 - Curva de distribuição da análise global do teor de cloro livre.	67
Figura 23 - Curva de distribuição da análise global do teor de cloro total.....	68
Figura 24 - Curva de distribuição da análise global do pH.	69
Figura 25 - Curva de distribuição da análise do pH dos pontos atendidos pela ETA Passaúna.	69
Figura 26 - Curva de distribuição da análise do pH dos pontos atendidos pela ETA Iguaçu.	69
Figura 27 - Curva de distribuição da análise global da temperatura da água.	70
Figura 28 - Provável sentido do fluxo de água nos pontos do Campo Comprido e São Braz.	76

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Propriedades físico-químicas do cloro.....	20
Quadro 2 - Patógenos transmitidos através da ingestão de água.	27
Quadro 3 - Estações modernas de tratamento de água no mundo	28
Quadro 4 - Doenças e patógenos relacionados ao consumo de água.	29
Quadro 5 - Principais características dos desinfetantes utilizados nos tratamentos de água	33
Quadro 6 - Capacidade desinfetante.....	33
Quadro 7 - Principais estações de tratamento de água no Brasil	35
Quadro 8 - Classificação dos mananciais de abastecimento de água da grande Curitiba.....	39
Quadro 9 - Parâmetros da secretaria do meio ambiente do Paraná para classificação dos corpos hídricos.	40
Quadro 10 - Reservatórios presentes no sistema Passaúna.....	43
Quadro 11 - Principais modelos de decaimento do cloro em água.....	47
Quadro 12 - Trihalometanos.	49
Quadro 13 - Limites de THM's pela OMS.....	50
Quadro 14 - Efeito dos principais THM's na saúde.	50
Quadro 15 - Resumo dos pontos de coleta de amostra.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo dos dados coletados da concentração de cloro livre.	63
Tabela 2 - Resumo dos dados coletados da concentração de cloro total.	64
Tabela 3 - Resumo dos dados coletados de temperatura da água.....	64
Tabela 4 - Resumo dos dados coletados de pH.....	65
Tabela 5 - Análise dos dados coletados.....	71
Tabela 6 - Comparação estatística dos resultados entre os bairros e ETA's para 2 desvios.....	72

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
BDCM	Bromodichlorometano
CNTP	Condições Normais de Temperatura e Pressão
DBCM	Dibromoclorometano
DPD	N,N-dietil-p-fenilenediamina
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DWD	Drinking Water Directive
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IQAR	Índice de Qualidade de Água em Reservatórios
MS	Ministério da Saúde
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
PTFE	Politetrafluoretileno
PVC	Cloreto de polivinila
RMC	Região Metropolitana de Curitiba
SDWA	Safe Drinking Water Act
TBM	Tribromometano
TCM	Triclorometano
THM's	Trihalometanos
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
UV	Ultravioleta
WHO	World Health Organization

LISTA DE ACRÔNIMOS

ANA	Agência Nacional de Águas
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CMAI	Chemical Markets Association Inc.
DACOC	Departamento Acadêmico de Construção Civil
ETA	Estação de Tratamento de Água
IPPUC	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Paraná
URBS	Urbanização de Curitiba S/A
USEPA	US Environmental Protection Agency

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS	17
2.1. JUSTIFICATIVA	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
3.1. CLORO.....	19
3.2. PRODUÇÃO DE CLORO	20
3.3. TRATAMENTO DE ÁGUA	23
3.4. DESINFECÇÃO NO EXTERIOR	25
3.4.1. Legislação internacional.....	25
3.4.2. Desinfecção nas principais estações de tratamento de água fora do Brasil.....	28
3.5. DESINFECÇÃO.....	29
3.5.1. Cloro	30
3.5.2. Considerações finais	32
3.6. CLORAÇÃO	34
3.7. SISTEMA DE TRATAMENTO EM CURITIBA/PR	36
3.7.1. Mananciais de abastecimento	36
3.7.2. Estações de tratamento de água.....	41
3.7.3. Reservatórios	44
3.8. DESVANTAGENS DO USO DO CLORO NA DESINFECÇÃO	46
3.8.1. Decaimento do cloro na água.....	46
3.8.2. Trihalometanos na água tratada.....	48
4 MATERIAIS E MÉTODOS	51
4.1. MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS	51
4.1.1. Escolha dos mananciais.....	52
4.1.2. Pontos de coleta	53
4.1.3. Parâmetros analisados, frequência, equipamentos de medição	56
4.1.4. Análise estatística	60
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	63
5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	63
5.2. RESULTADOS DO MONITORAMENTO	67
6 CONCLUSÕES	77
REFERÊNCIAS	79
APÊNDICE A – DADOS COLETADOS NAS MEDIÇÕES NO BAIRRO BATEL	84
APÊNDICE B – DADOS COLETADOS NAS MEDIÇÕES NO BAIRRO CAMPO COMPRIDO	86
APÊNDICE C – DADOS COLETADOS NAS MEDIÇÕES NO BAIRRO PORTÃO	88

APÊNDICE D – DADOS COLETADOS NAS MEDIÇÕES NO BAIRRO SÃO BRAZ.....	90
--------------------------------------------------------------------------	-----------

1 INTRODUÇÃO

A partir do século XVIII, com o aumento da preocupação com a proliferação de doenças causadas pelo consumo de água infectada, os métodos de tratamento e desinfecção evoluíram desde processos como a fervura, até modernos métodos de filtração e uso de radiação na eliminação dos patógenos (PÁDUA, 2009).

O cloro, nas suas mais diversas formulações químicas, está presente no tratamento de água desde os primórdios da história da desinfecção, datando do início do século XX, e até hoje é amplamente utilizado nos sistemas de tratamento espalhados pelo mundo. Independentemente das capacidades de produções das estações, ou da época em que foram implantadas, o cloro, em suas mais diversas formas, é uma constante no tratamento de água no Brasil e no mundo (DANIEL, 2001).

Atualmente no Brasil, entretanto, não é obrigatório que a etapa de desinfecção seja executada utilizando cloro ou seus derivados, mas as Estações de Tratamento de Água devem, obrigatoriamente, estabelecer concentração mínima de cloro residual nas redes de distribuição de água potável, para possível eliminação de patógenos que possam surgir nas tubulações devido a problemas originários na execução ou durante a vida útil das instalações. Essas diretrizes estão apresentadas no padrão de potabilidade atual, regulamentado pela Portaria MS nº 2914/2011 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). No documento em questão são estabelecidas referências para uma série de parâmetros de qualidade, dentre eles o cloro livre mínimo de 0,2 mg/L em qualquer ponto da rede, para que não haja riscos de contaminação durante o consumo de água.

Na cidade de Curitiba (PR), o gerenciamento do sistema de abastecimento de água, e conseqüentemente a disponibilização de água potável para população, é de responsabilidade da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), sendo a Secretaria Municipal da Saúde responsável pela vigilância da qualidade da água. No entanto, em qualquer um desses órgãos o acesso aos laudos é direto. Diante de uma questão de grande importância, como a divulgação da qualidade da água para a população, não só a respeito do cloro, mas também de uma série de outros

indicadores, constata-se que a falta de esclarecimento pode levar à diminuição da confiança no serviço, por parte dos usuários.

De fato, o consumo de água mineral no Brasil apresentou em 2012 crescimento de 7% em relação ao ano anterior (ASSIRATI, 2013). Comportamento análogo também foi verificado pelo setor de filtros residenciais (equivocadamente denominados “purificadores de água”), que movimentou 1 bilhão de dólares em 2013, sendo que a líder do segmento previa crescimento de 10% nas vendas para o ano de 2014 (AQUINO, 2014), enquanto o crescimento populacional no Brasil foi de 0,9%, segundo estimativas do IBGE.

Atualmente, não há estudos que indiquem que a recusa por parte da população ao consumo direto da água disponibilizada pelas concessionárias se deva realmente a uma percepção sensorial, ou se apenas resultado de uma especulação do brasileiro quanto a qualidade inadequada. No rol de justificativas pode-se ainda incluir simplesmente questões de costume.

Bellingieri (2004) observa que “em todos os lugares do mundo, independentemente da existência de serviços públicos de abastecimento de água (bicas, chafarizes ou redes de encanamento), as populações sempre possuíam costumes, técnicas ou equipamentos para tentar, domesticamente, tornar mais limpa a água que consumiam”. O autor menciona ainda que “em São Paulo, a partir dos últimos anos do século XIX e princípio do século XX, começaram a surgir, em livros, almanaques e jornais, várias referências a aparelhos e equipamentos de filtração e purificação de água para consumo doméstico”.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo avaliar a concentração de cloro livre, cloro total, pH e temperatura em alguns pontos da rede de distribuição de água em Curitiba, verificando a conformidade com a padrão de potabilidade estabelecido pela Portaria MS nº 2914/2011.

2 OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho é analisar a concentração de cloro livre em alguns pontos de consumo na rede pública de abastecimento de água na cidade de Curitiba, para verificação do atendimento ao padrão de potabilidade. Partindo dos mesmos dados tem-se como objetivos específicos:

- Verificar a concentração de cloro total em alguns pontos de consumo na rede pública de abastecimento de água na cidade de Curitiba;
- Verificar o pH e a temperatura em alguns pontos de consumo na rede pública de abastecimento de água na cidade de Curitiba;
- Verificar o comportamento da concentração do cloro livre em pontos consecutivos da rede.

2.1. JUSTIFICATIVA

A medição de cloro residual em alguns pontos da rede de distribuição de Curitiba se justifica diante da importância de sua função na rede de distribuição, da existência de um padrão de potabilidade, no qual são estabelecidos valores máximos e mínimos para este elemento químico, e da divulgação dos resultados não ser de fácil acesso à população.

A Sanepar divulga em seu endereço eletrônico somente valores médios das últimas 30 medições. Não há informações quanto aos locais monitorados e a frequência de análises. Já o órgão de fiscalização (Secretaria Municipal da Saúde) não divulga qualquer informação sobre o planejamento e estratégia de coleta de amostras, e nem os resultados. Mesmo que os resultados estejam dentro dos valores estabelecidos, a falta de informação e prestação de contas à população suscita diminuição na confiança do serviço.

Neste trabalho é levantado ainda outros fatores relevantes que não são amplamente conhecidos, mas que possivelmente interferem na concentração de cloro residual na rede e, certamente, são levados em consideração pela

concessionária no seu planejamento para manter os valores dentro da faixa estabelecida: qualidade da água bruta, pH e temperatura da água.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. CLORO

O elemento químico cloro foi descoberto em 1774 pelo químico farmacêutico sueco Carl Wilhelm Scheele ao realizar a reação de pirolusita, um mineral composto basicamente de dióxido de manganês, e ácido muriático, hoje conhecido como ácido clorídrico, liberando um gás amarelo-esverdeado de odor acre. Após estes experimentos Scheele nomeou o gás de ácido oximuriático, achando tratar-se de um composto de oxigênio. Em 1810 Humprey Davy propôs que tal gás era um novo elemento químico batizando-o de *klorós*, do grego "verde pálido" ou "amarelo verdoso" (LVQ-UNESP, 2014).

Em 1823, Berzelius, na elaboração da Tabela periódica, colaborou com a hipótese de Davy da existência do elemento cloro, classificando-o no grupo dos halogênios, junto com os então descobertos Flúor e Iodo. Os demais halogênios Bromo, descoberto em 1826 por Antonio Balard, e Astató, sintetizado em 1940 por Emilio Segrè, foram posteriormente alocados na Tabela junto a esse grupo (WHITE, 1998).

Presente na natureza usualmente na forma de compostos, devido a sua alta reatividade, o cloro é um elemento abundante no planeta, em torno de 18000 ppm na água do mar e 130 ppm na crosta terrestre, num total aproximado de 0,15% da crosta terrestre.

Comumente encontrado na forma de cloreto de sódio (NaCl), o sal de cozinha, em minerais como o silvina (KCl - cloreto de potássio) e a carnalita ($\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - cloreto hidratado de potássio e magnésio), ou ainda na forma de gás (Cl_2 - gás cloro) (WHITE, 1998).

Sendo altamente tóxico, o cloro já foi empregado como arma química, principalmente durante os conflitos da 1ª e 2ª guerras mundiais, hoje sua mais notada aplicação é como agente germicida, principalmente no tratamento de água.

Ainda pode ser citado como importante insumo na produção de papel, na etapa de branqueamento da polpa, sendo essa função de alvejante outra importante característica do cloro e seus compostos, na produção de tintas e solventes, na

fabricação de plásticos, principalmente o PVC (Policloreto de Vinila), medicamentos, têxteis, inseticidas, entre outros. As características físico-químicas do cloro podem ser observadas no Quadro 1.

Propriedades Físico-Químicas do Cloro	
Elemento Químico	Cloro
Símbolo	Cl
Grupo	VIIA
Número Atômico	17
Massa Atômica	35,453 u
Configuração Eletrônica	1s ² 2s ² 2p ⁶ 3s ² 3p ⁵
Classificação	Não Metal
Densidade (gás cloro, CNTP)	3,214 kg/m ³
Ponto de Fusão	171,6 K (-101,4°C)
Ponto de Ebulição	239,11 K (-33,89°C)
Entalpia de Fusão	3,203 kJ/mol
Entalpia de Ebulição	10,2 kJ/mol
Pressão de Vapor	1000 Pa a 170 K
Estrutura Cristalina	Ortorrômbica
Eletronegatividade	3,16
Calor Específico	480 J/(kg·K)
Condutividade térmica	0,089 W/(m·K)
1º Potencial de Ionização	1251,2 kJ/mol
Spin	3/2

Quadro 1 – Propriedades físico-químicas do cloro
Fonte: Adaptado de Mills et al. (1993).

Os dados presentes no Quadro 1, são referentes ao isótopo ³⁵Cl, o mais abundante no planeta (75,77% do Cl total) nas unidades do sistema internacional (SI) e nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP) salvo onde indicado. O cloro apresenta outros isótopos, sendo o único natural e estável o ³⁷Cl.

3.2. PRODUÇÃO DE CLORO

A fabricação de cloro (Cl₂) ou dos demais produtos utilizados na desinfecção de água para consumo humano provém do complexo industrial soda-cloro. Esse processo consiste em uma planta que, a partir de um processo eletrolítico, produz

hidróxido de sódio e cloro gasoso ao mesmo tempo na proporção 100 toneladas de Cloro para 112 toneladas de NaOH, sendo impossível a produção de apenas um dos produtos nesse processo. Portanto, o consumo de Cloro e Soda acompanha a mesma curva de variação no mercado mundial (FERNANDES *et al.*, 2009).

O processo como um todo pode ser resumido pela Figura 1, onde em um primeiro passo é preparada solução de salmoura (água e cloreto de sódio), que posteriormente passa para uma cuba de eletrólise. Os insumos são bastante simples e de fácil obtenção, porém grande parte dos gastos desse tipo de indústria são advindos do alto consumo energético, cerca de metade dos custos de produção (FERNANDES *et al.*, 2009).

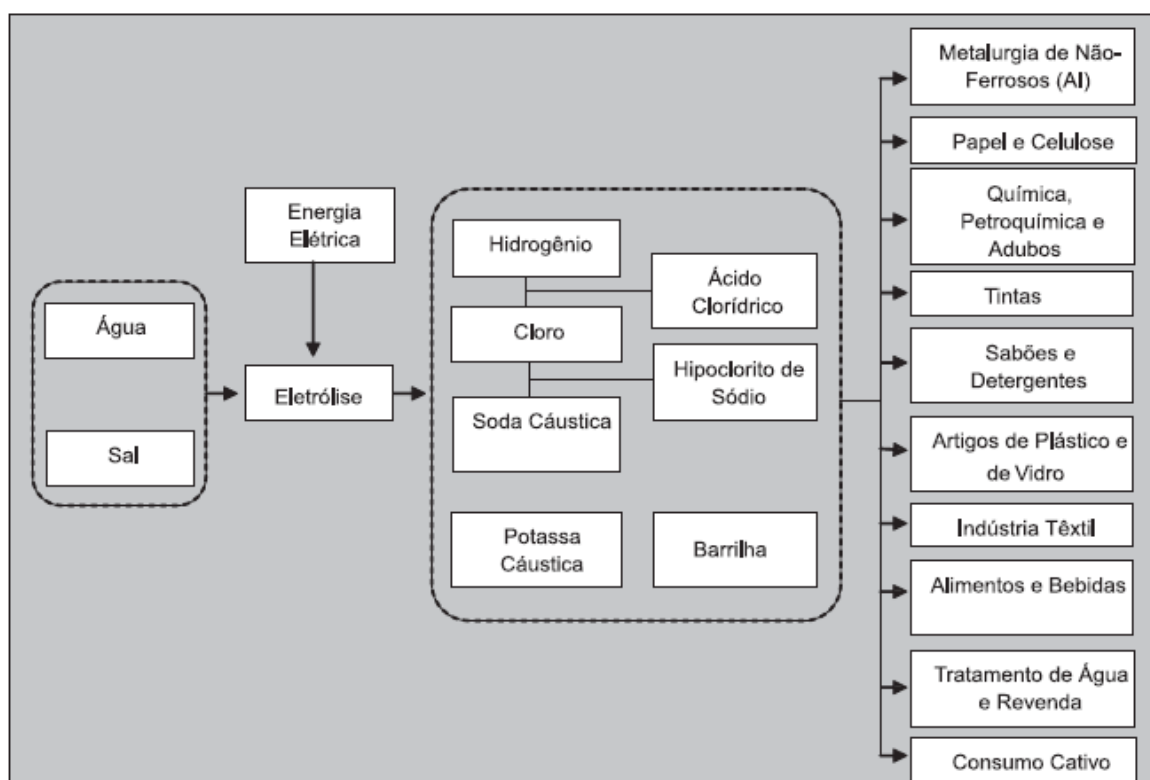


Figura 1 - Cadeia produtiva do cloro e da soda.
 Fonte: Adaptado de Fernandes *et al.*, (2009).

Na Figura 1 estão apresentadas as recombinações químicas que geram os gases hidrogênio e cloro, e os íons componentes do hidróxido de sódio, que irão se recombinar para a formação de soda cáustica e hipoclorito de sódio. Todos esses

componentes são posteriormente separados e refinados afim de aumentar a concentração e pureza dos produtos visados.

Segundo Moraes (2011) e White (1998), atualmente são usadas três tecnologias para a produção de soda-cloro, que diferenciam na etapa da eletrólise e separação dos componentes, sendo elas:

- Células de Mercúrio: método mais antigo utilizado, onde é empregado um cátodo revestido de mercúrio. Este processo produz hidróxido de sódio mais puro que os outros dois métodos, porém gera pequenos desprendimentos de mercúrio do cátodo (cerca de 3,5g por tonelada produzida) criando um grave problema ambiental na disposição dos efluentes do processo fabril. Hoje esse processo é desencorajado ou ainda proibido na maioria dos países.
- Células de Diafragma: Consiste num conjunto cátodo-ânodo de aço e titânio revestido de platina e um diafragma de asbeto, teflon e PTFE funcionando como separador, permitindo a passagem do hidróxido de sódio por difusão elétrica. Esse método reduz muito a geração de impurezas como o hipoclorito de sódio, porém é necessário a utilização de matérias primas mais puras e uma posterior célula de concentração de NaOH. Por se tratar de uma membrana porosa é muito comum a obstrução e selamento dos poros, portanto se faz necessária uma manutenção e troca constantes da membrana, sendo expressivos os custos dessa etapa.
- Células de Membrana: Similar as células diafragma, possui uma membrana sintética seletiva que permite a passagem de íons sódio e retém a hidroxila e cloretos. Esse método possui um alto atrativo por ser aparentemente não poluente, com consumo menor de energia elétrica e produção mais pura de cloro e soda, porém, por ser uma tecnologia recente seu custo de implantação é elevado.

No Brasil a produção de soda-cloro é obtida pelos métodos de célula de diafragma nas plantas mais recentes e células de mercúrio nas antigas. O cloro sai do processo de eletrólise no estado gasoso, o qual é resfriado a baixas pressões e

transformado em líquido. Sendo comercializado nesta forma em tanques ou cilindros (FERNANDES *et al.*, 2009).

Os principais compradores das indústrias de soda-cloro no mercado são de NaOH, os produtores de alumínio e outros metais não ferrosos, utilizado em banhos químicos, a fabricação de papel, na fase de dissolução de cavacos para obtenção de celulose, na indústria petroquímica, nos mais diversos usos, na fabricação de detergentes, produtos de limpeza e alimentos. O cloro e seus derivados são geralmente destinados à fabricação de papel, no processo de branqueamento das fibras, ao tratamento de água e maciçamente na produção de plásticos, principalmente o PVC (Cloro de polivinila) (FERNANDES *et al.*, 2009).

Segundo dados levantados pela CMAI (Chemical Markets Association, Inc.) no ano de 2007, 6% do Cloro produzido no mundo (aproximadamente 3,3 milhões de toneladas) foi destinado a tratamento de água (CMAI, 2008).

3.3. TRATAMENTO DE ÁGUA

Segundo Pádua (2009), a Engenharia Sanitária moderna começou apenas na metade século XIX após as grandes epidemias decorrentes da falta de higiene que afligiu a Europa desde a idade média até a referida data. Entretanto, antes disso havia históricos de tratamento rudimentares de água para consumo humano, como fervura, aquecimento através da radiação solar na Índia em 4000 A.C e no Egito, em 1500 A.C, um coagulante a base de alumínio.

Porém, na Idade Média, não se buscaram novas soluções, somente após o século XVII que as pesquisas intensificaram, e junto com as teorias microbianas de Pasteur e o estudo de Snow sobre a veiculação de microrganismos pela água, chegou-se ao tratamento com filtros no fim do século XIX e no início do século XX foi implantado no Missouri/USA o primeiro tratamento para abastecimento público com água clorada.

Até metade do século XX as pesquisas foram voltadas para desinfecção e clarificação da água, consolidando e sendo aplicados os sistemas convencionais

atualmente, como além dos citados filtração e cloração, a coagulação, floculação e decantação (PÁDUA, 2009).

E desde então, o cloro é o desinfetante mais utilizado em desinfecção de águas públicas, seja em forma líquida ou gasosa, como pré-desinfecção ou pós-cloração. São utilizados em menor escala como desinfetantes ainda o ozônio, o permanganato de potássio, a mistura de ozônio com peróxido de hidrogênio e íons ferro (DANIEL, 2001).

No Brasil, o primeiro sistema de Abastecimento de Água foi a Cantareira (antigo, não é o mesmo utilizado hoje) iniciado em 1857 e concluído em 1877 no estado de São Paulo. Porto Alegre e Rio de Janeiro vieram subsequentemente, nos anos de 1861 e 1876 respectivamente. Mas somente na capital carioca, foi construído uma Estação de Tratamento de Água, de nível considerado internacional, na época, com 6 filtros rápidos e decantadores do tipo Dortmund (PAULI, 2008).

Em Curitiba, o primeiro sistema de Abastecimento de Água foi do Alto São Francisco, no ano de 1904, que também deu origem ao reservatório mais antigo do Estado, recebeu o nome do sistema e está operando até hoje. A primeira estação de Tratamento do estado, hoje está desativada, foi a do Tarumã na divisa entre os municípios de Curitiba e Pinhais (SANEPAR, 2014a).

O tipo e nível de tratamento de água dependem do uso após este processo. Para abastecimento da população, o tratamento deve garantir atendimento aos padrões de potabilidade, conforme resolução do Ministério da Saúde, inclusive a não veiculação de organismos patogênicos. O tipo de tratamento também, dependerá da qualidade da água captada, denominada como água bruta (antes do tratamento).

Conforme Di Bernardo e Dantas (2005), qualquer qualidade de água bruta pode ser tratada e tornada potável. Entretanto, a viabilidade técnica e econômica é fator preponderante para as escolhas do tipo de tratamento a ser adotado. Os tratamentos de água podem ser separados com utilização de coagulantes, ou não. Para tratamento sem uso de coagulantes podem ser utilizadas as técnicas de filtração direta ou captação direta de poços artesianos profundos. Com utilização de coagulantes podem ser as estações de ciclo completo, o mais utilizado no Brasil, filtração dupla, entre outros menos utilizados. Independentemente do tipo de tratamento adotado, podem ser feitas correções na água bruta, como do pH, e é

obrigatória a desinfecção, a fluoretação e a manutenção de cloro residual, conforme resolução ministerial (JANUÁRIO, 2005).

O tratamento convencional, também conhecido por “ciclo completo”, envolve as seguintes etapas: coagulação, floculação, decantação ou flotação, filtração, desinfecção, fluoretação e correção de alcalinidade, se necessário. Há na literatura (RICHTER e AZEVEDO NETTO, 1991; DI BERNARDO e DANTAS, 2005; PÁDUA, 2009) descrições aprofundadas a respeito dessas etapas de tratamento de água. Portanto, em função do escopo principal estar vinculado ao cloro, o enfoque será dado à desinfecção.

3.4. DESINFECÇÃO NO EXTERIOR

3.4.1. Legislação internacional

A preocupação com o tratamento de água é de âmbito mundial, devido, principalmente, à transmissão de doenças, criando riscos de epidemias caso não seja feito controle de qualidade da água servida à população através do sistema de coleta, tratamento, reservação e distribuição.

No documento publicado pela Organização Mundial da Saúde (OMS) *Guidelines for Drinking-Water Quality* o controle de qualidade da água com relação a patógenos é um dos itens mais discutidos e frisados quanto a sua importância, sendo que o processo de desinfecção com cloro é altamente recomendado, por ser um método simples e com grande eficiência na remoção de bactérias e vírus, porém não tão eficiente com relação a protozoários (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011).

Outro aspecto levantado pela OMS é a manutenção de 0,2 - 0,5 mg/L de cloro residual nas tubulações de distribuição, quando essas existirem, para evitar a infecção da água já tratada. Esse residual também é importante em sistema que tenham reservatórios, pois a presença de cloro e com um tempo de exposição maior, os cistos dos protozoários do gênero *Giardia* são eliminados. Outra

recomendação da OMS é quanto a dosagem de cloro livre que é de 2,0 mg/L, quando a turbidez da água estiver abaixo de 10 UNT, e o dobro disso, 4,0 mg/L, quando a turbidez for superior a 10 UNT (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011).

Ainda nessas diretrizes de tratamento de água, a OMS cita a formação de trihalometanos (THM) como um problema na utilização de cloro como desinfetante, e como profilaxia sugere que a dosagem de cloro seja menor, desde que a desinfecção seja eficiente, ou que se aliem outros métodos, como coagulação, ozônio ou radiação UV, para essa redução de dosagem. Ainda é citada a substituição de cloro gasoso ou na forma de hipoclorito por dióxido de cloro e monocloroaminas que possuem reatividade menor, portanto, menor probabilidade de formação de THM, mas volta-se ao dilema de dosagem suficiente e monitoramento para eliminação eficiente de patógenos (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011).

A norma americana SDWA (*Safe Drinking Water Act*) implementada pela USEPA (*US Environmental Protection Agency*) informa que sistemas que utilizam a cloração como método de desinfecção devem estabelecer 4,0 mg/L como máximo residual de cloro livre, sendo esse mesmo valor válido para cloroaminas. Para utilização de dióxido de cloro fica estipulado um máximo de 0,8 mg/L. Essa norma não estipula valores mínimos de concentração residual nas redes de distribuição. Assim como no Brasil, não existe a obrigatoriedade da utilização de sistemas de desinfecção com cloro. Porém, pela fácil utilização e custos acessíveis, é um dos métodos mais utilizados nos Estados Unidos da América (USEPA, 1998).

A SDWA ainda estipula valores máximos para concentrações de THM em 0,080 mg/L e 0,060mg/L para ácidos haloacéticos. No Quadro 2 é apresentada a eficiência do cloro como desinfetante, o que justifica a recomendação de seu uso.

Patógeno	Significância para Saúde	Persistência no abastecimento de água	Resistência ao cloro	Infecciosidade relativa	Importante fonte aaminal
Bactérias					
<i>Burkholderia pseudomallei</i>	Alto	Pode se multiplicar	Baixo	Baixa	Não
<i>Campylobacter jejuni, C. coli</i>	Alto	Moderado	Baixo	Moderada	Sim
<i>Escherichia coli – Patogenico</i>	Alto	Moderado	Baixo	Baixa	Sim
<i>E. coli – Enterohemorrágico</i>	Alto	Moderado	Baixo	Alta	Sim
<i>Francisella tularensis</i>	Alto	Longo	Moderado	Alta	Sim
<i>Legionella spp.</i>	Alto	Pode se multiplicar	Baixo	Moderada	Não
<i>Leptospira</i>	Alto	Longo	Baixo	Alta	Sim
<i>Mycobacteria (nontuberculous)</i>	Baixo	Pode se multiplicar	Alto	Baixa	Não
<i>Salmonella Typhi</i>	Alto	Moderado	Baixo	Baixa	Não
<i>Other salmonellae</i>	Alto	Pode se multiplicar	Baixo	Baixa	Sim
<i>Shigella spp.</i>	Alto	Curto	Baixo	Alta	Não
<i>Vibrio cholerae</i>	Alto	Curto para longo	Baixo	Baixa	Não
Vírus					
Adenovirose	Moderada	Longo	Moderado	Alta	Não
Astrovirose	Moderada	Longo	Moderado	Alta	Não
Enterovirose	Alto	Longo	Moderado	Alta	Não
Hepatite A	Alto	Longo	Moderado	Alta	Não
Hepatite E	Alto	Longo	Moderado	Alta	Potencialmente
Norovirose	Alto	Longo	Moderado	Alta	Potencialmente
Rotavirose	Alto	Longo	Moderado	Alta	Não
Sapovirose	Alto	Longo	Moderado	Alta	Potencialmente
Protozoários					
<i>Acanthamoeba spp.</i>	Alto	Pode se multiplicar	Alto	Alta	Não
<i>Cryptosporidium hominis/parvum</i>	Alto	Longo	Alto	Alta	Sim
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	Alto	Longo	Alto	Alta	Não
<i>Entamoeba histolytica</i>	Alto	Moderado	Alto	Alta	Não
<i>Giardia intestinalis</i>	Alto	Moderado	Alto	Alta	Sim
<i>Naegleria fowleri</i>	Alto	Pode se multiplicar	Baixo	Moderada	Não
Helmintos					
<i>Dracunculus medinensis</i>	Alto	Moderado	Moderado	Alta	Não
<i>Schistosoma spp.</i>	Alto	Curto	Moderado	Alta	Sim

Quadro 2 - Patógenos transmitidos através da ingestão de água.

Fonte: Adaptado de WHO (2011).

A União Europeia, através do Comitê Europeu lançou o programa *Drinking Water Directive* (DWD) no qual é estipulado que os países membros devem seguir índices de desinfecção e presença de substâncias químicas mínimos e máximos, porém permite que cada país siga sua própria legislação e métodos de tratamento que achar conveniente, não estipulando o uso obrigatório de cloro. O cloro é citado como principal método de desinfecção, porém são feitas considerações quanto a sua utilização na forma gasosa e formação de THM, sugerindo a utilização da cloroaminas (DWD, 1998).

3.4.2. Desinfecção nas principais estações de tratamento de água fora do Brasil

Fora do Brasil, a situação dos mananciais para captação de água potável não é muito diferente das grandes capitais brasileiras (VICTORINO, 2007), os mananciais encontram-se bastante degradados e com necessidade de tratamentos avançados para adaptar-se as possíveis captações de água, sendo assim necessário investir em grandes tratamentos para desinfecção e retirada de poluentes ou processos dessalinizadores que tornam o investimento oneroso, tanto no investimento inicial quanto na operação, devido as grandes distâncias do manancial (ACCIONA, 2014; DEGREMONT, 2014). Entre alguns projetos modernos europeus, asiáticos ou de países americanos encontram-se os apresentados no Quadro 3.

Estação	País	Vazão (L/s)	Desinfetante	Tratamento	Fonte
Alicante	Espanha	3.000	Hipoclorito de sódio	Osmose Inversa	Degremont (2014)
Koudiat	Argélia	4.800	Cloro gasoso	Convencional	
Santa Bárbara	Holanda	300	Ultra Violeta	Osmose Reversa	
Zocuca	Espanha	250	Cloro gasoso	Convencional	Acciona (2014)
Las Copas	Espanha	250	Cloro gasoso	Convencional	
Soria	Espanha	250	Cloro gasoso	Convencional	
Juan Manoel de Rosas	Argentina	11.000	Cloro gasoso	Convencional	Bourroul(2010); Aysa (2014)

Quadro 3 – Estações modernas de tratamento de água no mundo

3.5. DESINFECÇÃO

Segundo Daniel (2001), a desinfecção tem como funções controlar a veiculação hídrica e inativar os organismos patogênicos. Auxilia a redução da mortalidade infantil e da proliferação de doenças, consequentemente aumentando a qualidade de vida da população abastecida pelo sistema.

Conforme explica Pires (1997), a desinfecção não inativa todos os organismos, só os causadores de doenças, pois somente na esterilização todos os organismos são eliminados. São basicamente quatro tipos de organismos que causam doenças nos seres humanos: bactérias, vírus, protozoários e helmintos. As doenças mais comuns causadas por bactérias veiculadas pela água, quando não desinfetada, são a febre tifoide, paratifóide, cólera e disenteria bacilar, pelos vírus a poliomielite e a hepatite infectuosa. Tem-se um resumo das doenças e dos tipos de organismos no Quadro 4.

	Organismos	Doenças
Bactérias	<i>Salmonella typhi</i>	Febre Tifóide
	<i>Salmonella spp.</i>	Salmoneloses
	<i>Shigella</i>	Shigeloses (Disenteria Bacilar)
	<i>Escherichia coli</i> patogênica	Gastroenterites
	<i>Vibrio Cholerae</i>	Cólera
	<i>Legionella pneumophila</i>	Doenças Legionários
	<i>Leptospira</i>	Leptospirose
Vírus	<i>Enterovirus</i>	Poliomielite, Gastroenterites
	<i>Rotavirus</i>	Gastroenterites
	Vírus da Hepatite A	Hepatite A
	<i>Adenovirus</i>	Doenças Respiratórias, Conjuntivites
Protozoários	<i>Entamoeba histolytica</i>	Amebíase
	<i>Giardia lamblia</i>	Giardiase
Helmintos	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Verminoses
	<i>Enterobius vermiculares</i>	Verminoses
	<i>Schistosoma mansoni</i>	Esquistossomose

Quadro 4 - Doenças e patógenos relacionados ao consumo de água.

Fonte: Cetesb (1992).

A ação dos desinfetantes ocorre através de desarranjo ou destruição de organização celular, tornando as enzimas não funcionais ou destruindo a parede celular, interferindo no crescimento e biossíntese (DANIEL, 2001).

Os desinfetantes para tratamento de água podem ser classificados em dois grandes grupos: físicos, tais como a radiação ultravioleta (também chamada de radiação UV) e o calor, ou agentes químicos, como o ozônio, o cloro e seus derivados (PIRES, 1997), apresentados a seguir.

3.5.1. Cloro

- Hipoclorito de Sódio

O hipoclorito de sódio é resultado da mistura de cloro gasoso em solução de hidróxido de sódio. Possui pH entre 9 e 11, entretanto com baixo teor de cloro entre 12 a 15% da massa. Deve-se tomar cuidado com estocagem, pois o mesmo, após a mistura, inicia-se a decomposição do cloro ativo inicial, inviabilizando a estocagem do produto durante tempos mais longos, podendo ser instalados sistemas de geração de solução dentro das estações de tratamento (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

- Hipoclorito de Cálcio

O hipoclorito de Cálcio ($\text{Ca}(\text{ClO})_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) é comercialmente encontrado na forma granulada ou em tabletes e possui maior quantidade de cloro disponível, entre 45 a 50% da massa, levando assim uma vantagem sobre o hipoclorito de sódio, conseguindo-se reduzir volumes ocupados nas Estações. Prepara-se a solução em tanques de resina ou polietenos com agitadores e bombas dosadoras (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

- Cloro Líquido ou Gasoso

Comercialmente, o cloro é encontrado na forma líquida ou gasosa, em carretas ou cilindros. Entretanto, para aplicação no tratamento de água, a forma líquida deve sofrer processo de vaporização, dosagem e depois injeção pressurizada. Em ambos os casos, é necessário controladores e lavadores de gases

para evitar problemas com contaminação e intoxicações decorrentes do cloro gasoso.

É normalmente utilizado nas estações de grande porte, por economizar volumes ocupados dentro da estação e reduzir problemas logísticos no abastecimento dos desinfetantes, comparando-se com Hipoclorito de Cálcio ou Sódio (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

- Dióxido de Cloro

O Dióxido de Cloro é utilizado tanto como oxidante como desinfetante. Pode ser gerado com clorato de sódio ou clorito de sódio com ácidos. São normalmente utilizados com geradores dentro das Estações de Tratamento (DI BERNARDO e PAZ, 2008).

Os produtos à base de cloro geram subprodutos após sua utilização classificados como orgânicos, halogenados e inorgânicos. Dentre os orgânicos encontram-se aldeídos, acetonas entre outros, e esses resíduos aparecem também nas desinfecções com ozônio. Nos halogenados, os trihalometanos são os mais comuns e mais preocupantes dentro dos sistemas de distribuição de água. Nos inorgânicos, os cloritos e cloratos, associados à exposição solar. Os subprodutos gerados são dependentes da qualidade da água bruta, do tempo de contato, do desinfetante utilizado, além do tratamento utilizado (DANIEL, 2001).

- Cloração ao Break Point

Existem três métodos para aplicação de cloro: a cloração simples, a amônia cloração e a cloração ao break-point ou ponto de quebra. A cloração simples trata-se de uma quantidade de cloro ou composto clorado aplicado durante um tempo de contato pré-determinado, de tal forma que não há preocupação com a demanda imediata, podendo não desinfetar de forma eficiente a água. A amônia-cloração corresponde ao método de adição de composto clorado simultaneamente a amônia, que é eficaz na remoção do odor e sabor gerado pelos compostos clorofenóis. Entretanto, pode não ocorrer a oxidação completa das cloraminas e as mesmas podem consumir o cloro residual livre, que garantirá a desinfecção ao longo do sistema (DI BERNARDO, 2005). Na Figura 02 pode ser observado os estágios do processo de cloração ao break point.

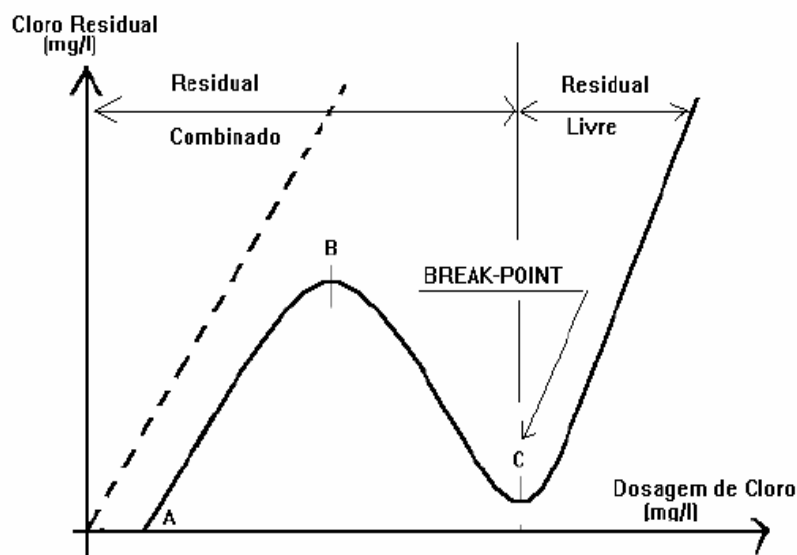


Figura 2 - Estágios de cloração
Fonte: Di Bernardo (2005).

A cloração ao break point é realizada em condições controladas, suprindo a demanda imediata e oxidando as cloraminas formadas ao longo do processo, propiciando maior probabilidade que somente o cloro residual livre resulte após o contato, além de garantir a desinfecção. Esse método é o mais utilizado em sistemas públicos de abastecimento de água (DI BERNARDO, 2005).

3.5.2. Considerações Finais

Segundo Richter e Azevedo Netto (1991), o cloro é o desinfetante mais utilizado, pois é fácil de ser obtido, em qualquer uma de suas formas, de fácil aplicação, baixo custo, além de deixar o residual para garantia de desinfecção da água até seu ponto de consumo, conforme portaria MS 2914/2011 (BRASIL, 2011).

Outra vantagem, além dos fatores econômicos, é que o cloro consegue eliminar a maioria dos patógenos encontrados comumente nos corpos hídricos. No

Quadro 5, estão indicadas as capacidades de desinfetantes conforme os tratamentos preliminares e os organismos patogênicos.

Característica	Cloro	Hipoclorito de Sódio	Ozônio	Radiação UV
Inativação de microorganismos	alta	alta	alta	alta
Solubilidade	baixa	alta	alta	não avaliável
Toxicidade ao homem	altamente tóxico	tóxico	tóxico	tóxico
Homogeneidade	homogêneo	homogêneo	homogêneo	não avaliável
Penetração	alta	alta	alta	moderado
Disponibilidade	baixo custo	custo moderadamente baixo	custo moderadamente alto	custo moderadamente alto

Quadro 5 - Principais características dos desinfetantes utilizados nos tratamentos de água

Fonte: Adaptado de Pires (1997).

No Quadro 6, encontram-se as principais características dos desinfetantes utilizados nos sistemas de tratamento.

Organismos-alvo	Com Tratamento Convencional	Sem Tratamento
Grupo coliformes	Cloro e hipocloritos	Cloro e hipocloritos
	Cloraminas	Dióxido de cloro
	Dióxido de cloro	Desinfecção interativa
	Ozônio	
	UV	
	Desinfecção interativa	
Cistos de Giardia	Cloro e hipocloritos	Cloro e hipocloritos
	Cloraminas	Dióxido de cloro
	Dióxido de cloro	Desinfecção interativa
	Desinfecção interativa	
Vírus	Cloro e hipocloritos	Cloro e hipocloritos
	Cloraminas	Dióxido de cloro
	Dióxido de cloro	UV
	Ozônio	Desinfecção interativa
	UV	
	Desinfecção interativa	
Oocistos de <i>Cryptosporidium</i>	Dióxido de cloro	Dióxido de cloro
	Ozônio	Desinfecção interativa
	Desinfecção interativa	

Quadro 6 - Capacidade desinfetante

Fonte: Adaptado de USEPA (1999).

3.6. CLORAÇÃO

A desinfecção utilizando cloro tem como principal responsável o ácido Hipocloroso HOCl, que é gerado após dissolução do gás cloro com água, conforme Equação (1) e Equação (2) (TRIMBOLI, 2006).



Para os compostos clorados, utilizando hipoclorito de sódio, conforme Equação (3):



Utilizando hipoclorito de cálcio, conforme Equação (4):



Denomina-se cloro residual livre a quantidade de íons hipoclorito (OCl) e ácido hipocloroso (HOCl), e o cloro total como a quantidade de cloro reagida ou não com os elementos presentes na água. Vieira *et al.* (2004) informam que, quanto maior a quantidade de substâncias químicas, orgânicas ou inorgânicas, maior o consumo de cloro residual livre, oferecendo menor garantia de desinfecção no ponto de consumo, além de maiores dosagens de cloro na estação.

Vieira *et al.* (2004) apontam alguns motivos que permitem entrada de substâncias no sistema, como reparos e conexões em tubulações, pontas de

tubulação, tubulações antigas em ferro fundido, limpeza e manutenção do sistema e a qualidade da água bruta. Segundo os autores, além do consumo de cloro livre pela reação com substâncias, outros fatores também reduzem o cloro livre presente na água, como tempo de detenção em reservatórios, quantidade de pontos de ramificação de redes e velocidade de escoamento.

Conforme já mencionado, no Brasil é obrigatória a manutenção de cloro residual em redes públicas de abastecimento de água, conforme Portaria MS nº2914/2011 do Ministério da Saúde, deve-se manter, no mínimo, uma concentração de 0,2 mg/L de cloro residual livre ou de 2 mg/L de cloro residual combinado em toda a rede de distribuição, mesmo que seja utilizado outro desinfetante na estação de tratamento. Entretanto, recomenda-se teor de cloro residual abaixo de 2 mg/L e pH entre 6,0 a 9,5.

As principais estações de tratamento de água no Brasil utilizam a cloração no processo de desinfecção, além da manutenção da taxa de cloro livre para desinfecção do sistema de distribuição, conforme Quadro 7.

Estação	Localização	Vazão (L/s)	Desinfetante	Tratamento	Fonte
Guandu	Rio de Janeiro	43.000	Cloro Gasoso	Convencional	CEDAE (2014)
Guaraú	São Paulo	33.000	Cloro Gasoso	Convencional	DAE-SCS (2014)
Rio das Velhas	Minas Gerais	6.000	Cloro Gasoso	Convencional	Belo Horizonte (2010)
Iguaçu	Curitiba	3.600	Cloro Gasoso	Convencional	Sanepar (2012a)
Passaúna	Curitiba	2.400	Cloro Gasoso	Convencional	Sanepar (2012b)

Quadro 7 – Principais estações de tratamento de água no Brasil

3.7. SISTEMA DE TRATAMENTO EM CURITIBA/PR

3.7.1. Mananciais de abastecimento

Os mananciais que atendem a região metropolitana de Curitiba estão cadastrados na Agência Nacional de Águas (ANA) e são os detalhados no mapa da Figura 3.

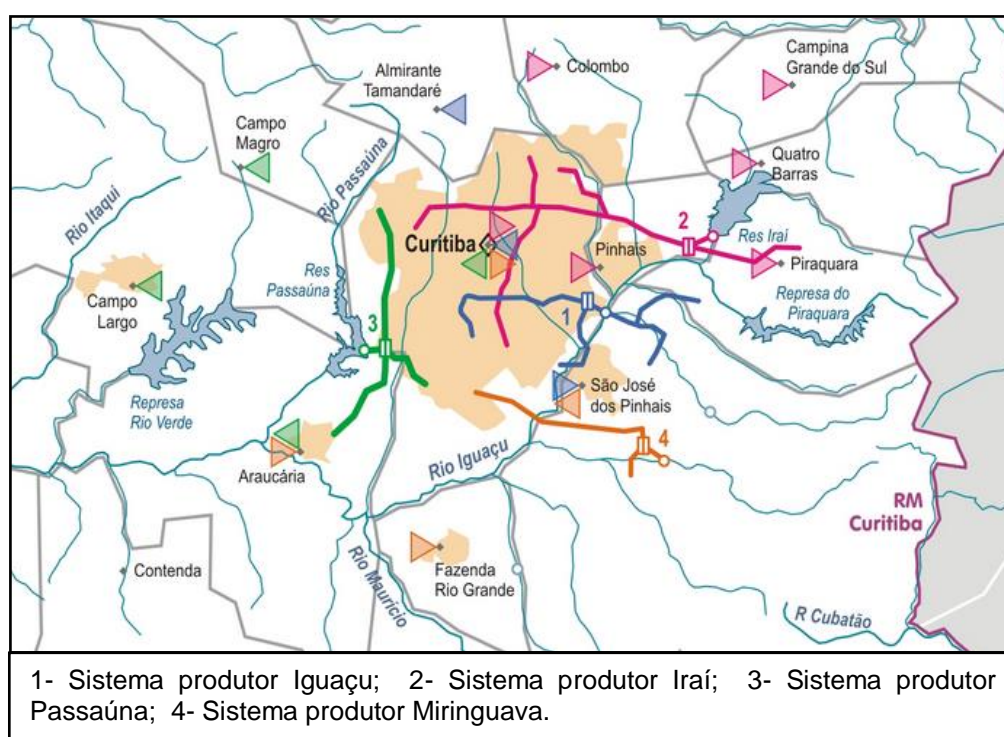


Figura 3 - Mananciais de abastecimento da região metropolitana de Curitiba.

Fonte: (ANA, 2014).

Conforme cadastro na ANA, a região metropolitana é abastecida por quatro sistemas produtores: Iraí, Iguaçu, Miringuava e Passaúna. Alguns municípios da região metropolitana recebem complementos de poços artesianos como Campo Largo e a região do Karst. Com esses dados, compatibilizou-se com a planta operacional dos sistemas produtores e planta regional do Sistema de Abastecimento de Água da Capital, nas Figuras 4 e 5, respectivamente. Com as imagens, foi

possível identificar os mananciais que abastecem cada região da cidade de Curitiba, exclusivamente.

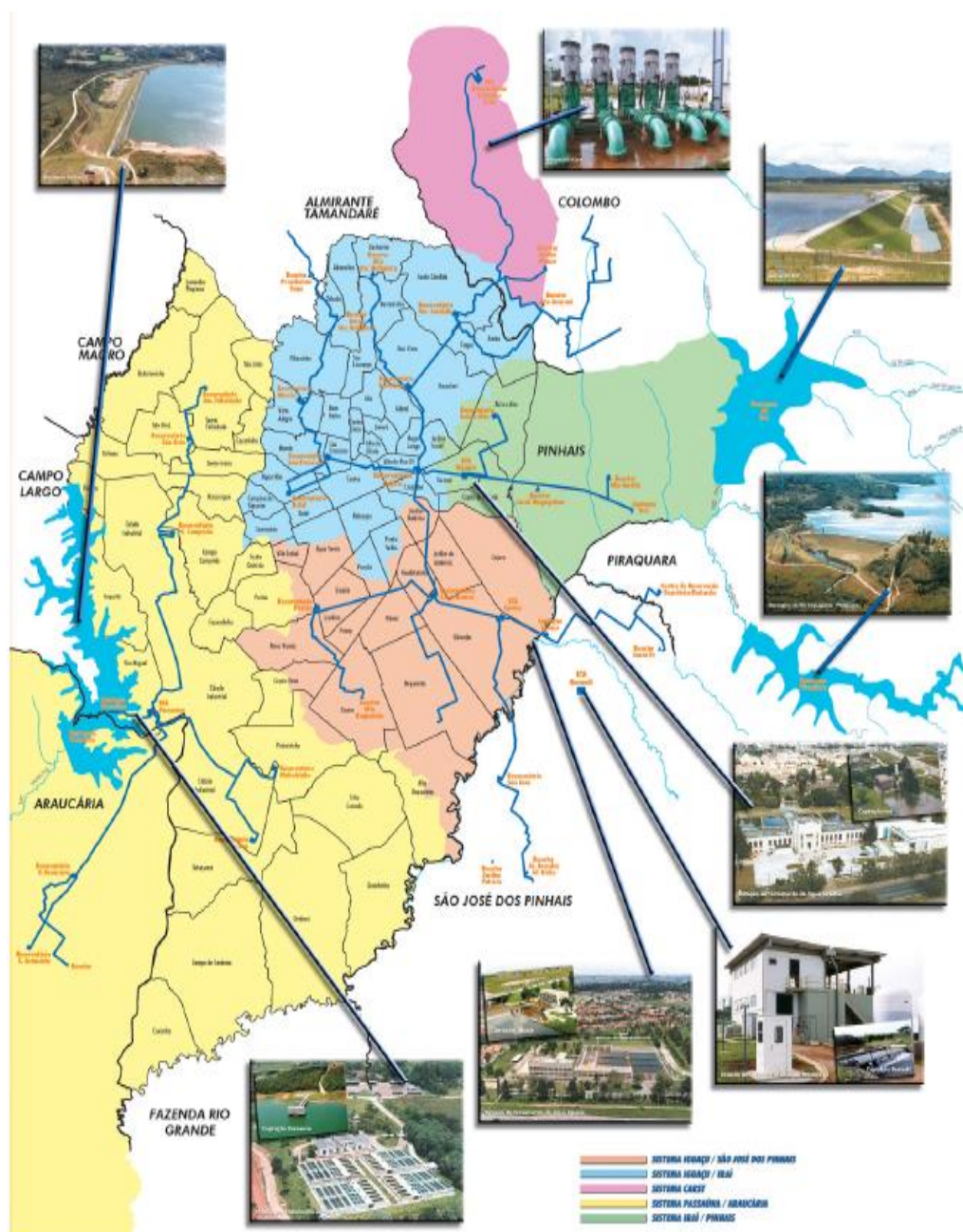


Figura 4 - Planta geral do sistema de abastecimento separado por sistema produtor.

Fonte: SANEPAR (2012a).

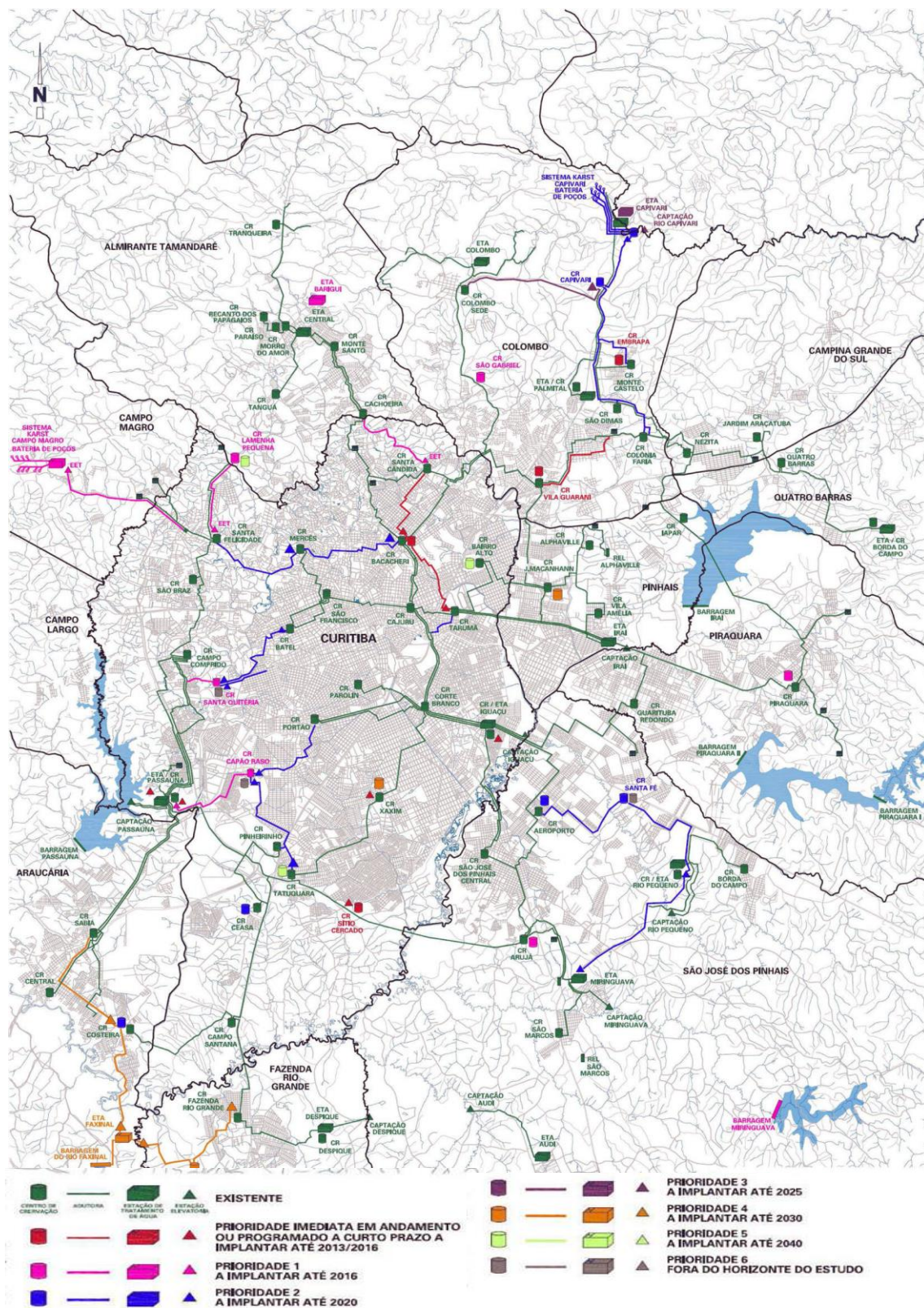


Figura 5 - Planta geral do sistema de abastecimento – principais unidades e interligações.
 Fonte: SANEPAR (2012a)

Constatou-se que todos mananciais e captações que abastecem a cidade de Curitiba também abastecem as cidades da Região Metropolitana, por isso tal sistema é considerado integrado, e possui capacidade de manobras operacionais para supressão temporária de sistemas produtores, sendo eventos sazonais e programados.

Foi realizada compatibilização com os dados da Secretaria Estadual de Meio Ambiente do Paraná, que monitora a qualidade das águas e distribui em classes os mananciais, variando de I a V, no qual V é o mais degradado. Além disso, elabora o índice IQAR (Índice de Qualidade de Água em Reservatórios) que varia de 1 a 6, sendo 6 a pior qualidade, disponibilizando os dados sazonalmente, conforme Quadro 8.

Reservatório	IQAR	Classe
Passaúna - Estação Barragem	>3,4	Classe III - moderadamente degradado
Passaúna - Estação Olaria	3,3	Classe III - moderadamente degradado
Piraquara I	2,6	Classe III - moderadamente degradado
Iraí	4,2	Classe IV - criticamente degradado a poluído
Alagados	3,2	Classe III - moderadamente degradado

Quadro 8 - Classificação dos mananciais de abastecimento de água da grande Curitiba.

Fonte: SEMA (2014).

Tal classificação é baseada nos parâmetros da Secretaria, que são diferentes da classificação de Corpos Hídricos do CONAMA. No Quadro 9 são informados os parâmetros quantitativos para análise pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente.

Variáveis "i"	Classe I	Classe II	Classe III	Classe IV	Classe V	Classe VI
Déficit de oxigênio (%)	<5	6 - 20	21 - 35	36 - 50	51 - 70	>70
Fósforo Total (P - mg/L)	< 0,010	0,011 - 0,025	0,026 - 0,040	0,041 - 0,085	0,086 - 0,210	>0,210
Nitrogênio Inorgânico Total (N - mg/L)	< 0,15	0,16 - 0,25	0,26 - 0,60	0,61 - 2,00	2,00 - 5,00	>5,00
Clorofila a (mg/m ³)	< 1,5	1,5 - 3,0	3,1 - 5,0	5,1 - 10,0	11,0 - 32,0	>32
Disco de Secchi (m)	> 3	3 - 2,3	2,2 - 1,2	1,1 - 0,6	0,5 - 0,3	<0,3
DQO (mg/L)	< 3	3 - 5	6 - 8	9 - 14	15 - 30	>30
Tempo de residência (dias)	< 10	11 - 40	41 - 120	121 - 365	366 - 550	>550
Profundidade média (m)	> 35	34 - 15	14 - 7	6 - 3,1	3 - 1,1	<1
Fitoplancton (diversidade de espécies)	baixa, sem predom. de espécies	média a alta, sem predom. de espécies	média a alta, com predom. de espécies	reduzida, com predom. de espécies	reduzida, com predom. de espécies	muito reduzida, com predom. de espécies
Fitoplancton (florações)	sem	rara	eventual	frequente	frequente - perm.	permanente

Quadro 9 - Parâmetros da secretaria do meio ambiente do Paraná para classificação dos corpos hídricos.

Fonte: SEMA (2014).

Sendo assim, as seis classes de qualidade de água estabelecidas, segundo seus níveis de comprometimento, pela Resolução CONAMA 357/05, determina à restrição a utilização a partir da classe IV, e esta inclusive, de águas doces para abastecimento público (BRASIL, 2005).

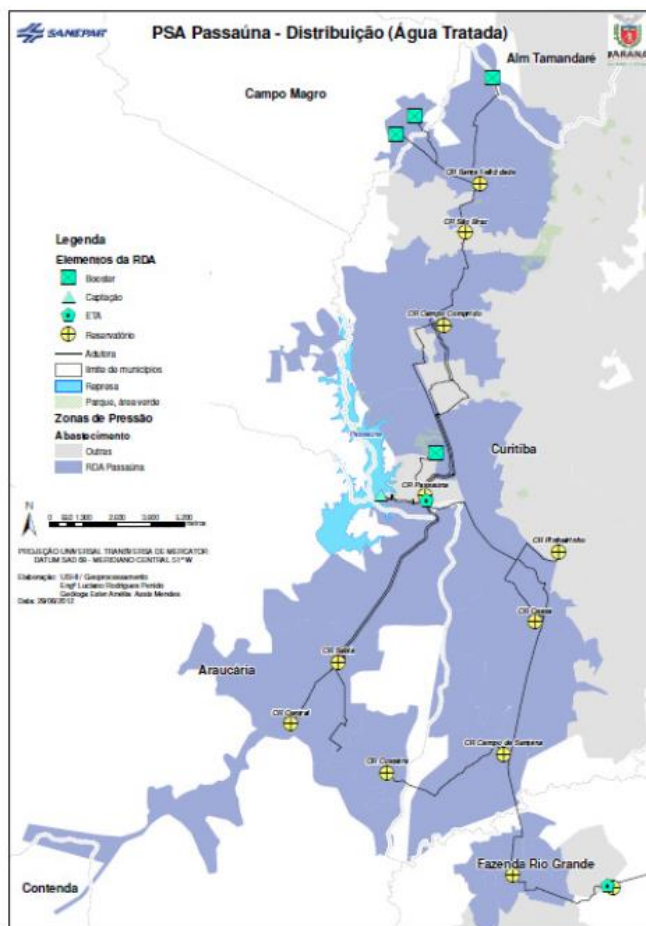
Comparando-se ao sistema da Secretaria para classificação dos corpos hídricos, percebe-se que nessa metodologia com os parâmetros demonstrados do Quadro 9, a qualidade de água para abastecimento humano é possibilitada até a classe IV, e por isso há divergência dos dados da secretaria com relação ao CONAMA, pois os intervalos de qualidade são diferentes. Sendo assim, as captações de água da região metropolitana de Curitiba estão em conformidade com as legislações vigentes, apesar da diferenciação na classificação.

3.7.2. Estações de tratamento de água

A Estação de Tratamento do Passaúna foi inaugurada em 1986 e tem capacidade de tratamento de 2400 L/s, divididos em quatro módulos de tratamento, com vazões equidistribuídas. Cada módulo possui quatro decantadores, seis filtros e um floculador mecânico. Localiza-se na região oeste da cidade Curitibana.

O processo de tratamento é composto de: coagulação com policloreto ou sulfato de alumínio, floculação mecânica do tipo chicana de fluxo vertical, seguida de decantadores lamelares de alta taxa com inclinação de 60° e filtros convencionais. Desinfecção com cloro gasoso e fluoretação com ácido fluossilícico. Pode ser observada na Figura 6 a área de atendimento do sistema e as unidades de tratamento na planta demonstrada na Figura 7 (SANEPAR, 2012b).

Essa estação atende aproximadamente 707 mil habitantes que correspondem a mais de 182 mil ligações domiciliares nos municípios de Curitiba, Araucária, Campo Magro, Campo Largo e Fazenda Rio Grande. Para atender esses municípios são necessários 11 reservatórios, demonstrados no Quadro 10 (SANEPAR, 2012b).



**Figura 7 - Planta Geral do Sistema do Passaúna - Principais unidades componentes do Sistema.
Fonte: SANEPAR (2012)b.**



**Figura 6 - Vista aérea da ETA Passaúna.
Fonte: Google (2014).**

Reservatório	Volume (m ³)
Campo Comprido	10.000
São Braz	6.000
Santa Felicidade	3.250
Passaúna	18.000
Ceasa	6.000
Sabia	4.000
Central	1.500
Costeira	5.000
Lamenha Pequena	2.500
Santa Quitéria	10.000
Campo de Santana	Não Informado
Fazenda Rio Grande	Não Informado
Araucária	Não Informado

Quadro 10 - Reservatórios presentes no sistema Passaúna

Fonte: SANEPAR (2012b).

A Estação do Iguaçu foi inaugurada em 1969, possui capacidade de tratamento de 3.600 L/s. Possui como tratamento um sistema convencional com coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção com cloro gasoso. Na Figura 8 é apresentada uma foto da ETA Iguaçu.



Figura 8 - Vista aérea ETA Iguaçu.
Fonte: Google (2014).

3.7.3. Reservatórios

O Reservatório do Portão possui capacidade de 20.000 m³, executado em concreto armado, é um reservatório elevado localizado no bairro do Portão e atende os bairros do Portão, Água Verde, Capão Raso (Figura 9).



**Figura 9 - Reservatório do Portão.
Fonte: SANEPAR (2014b).**

O reservatório do Batel (Figura 10) foi executado em formato retangular, em concreto armado, com capacidade de armazenamento de 16.000 m³.



Figura 10 - Reservatório do Batel.
Fonte: SANEPAR (2014b)

O reservatório do São Braz (Figura 11) possui capacidade de armazenamento de 6.000 m³ de água, no formato retangular em concreto armado.

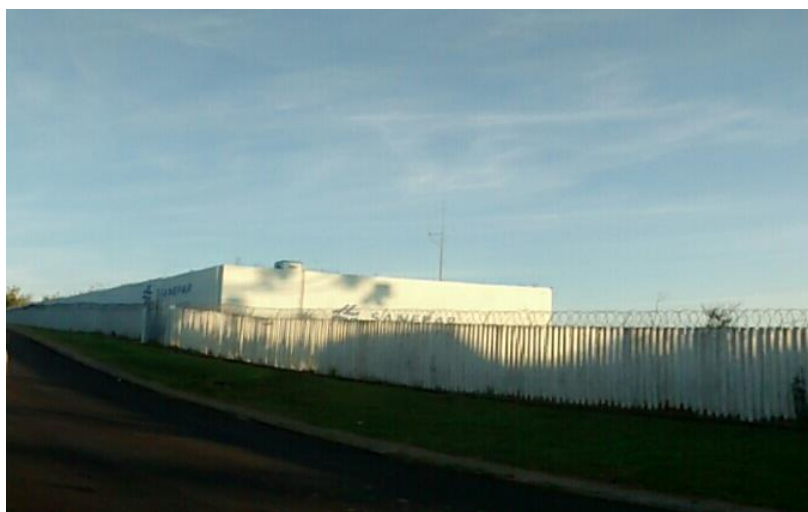


Figura 11 - Reservatório do São Braz.
Fonte: Google (2014).

O reservatório do Campo Comprido possui formato retangular e capacidade de 10.000 m³. Uma vista aérea do centro de reservação é apresentada na Figura 12.



**Figura 12 - Reservatório do Campo Comprido.
Fonte: Google (2014).**

3.8. DESVANTAGENS DO USO DO CLORO NA DESINFECÇÃO

3.8.1. Decaimento do cloro na água

A manutenção de certa quantidade de cloro reativo em qualquer ponto da rede de distribuição de água potável se deve ao fato da possibilidade de introdução de patógenos nas tubulações nos pontos de perda de estanqueidade ou retorno de manutenção (SALGADO, 2008).

Por sua reatividade, o cloro livre presente na água tem sua concentração diminuída ao longo da rede, podendo sua concentração ser muito diferente nos pontos de consumo da que sai da estação de tratamento (SALGADO, 2008; FONSECA, 2014).

Essa redução se deve à reação do cloro com substâncias orgânicas e inorgânicas que podem estar presentes na água e nos materiais da rede de distribuição de água tratada (SANABRIA e DE JULIO, 2013). Essas reações químicas são influenciadas por diversos fatores físico-químicos do fluido, como a temperatura, o pH, a velocidade de escoamento e a concentração de substâncias

reativas ao cloro, e dos elementos do sistema de distribuição, como o diâmetro da tubulação, o material, a idade do sistema, entre outros (CLARK *et al.*, 1995).

Para garantir o teor mínimo previsto pelo padrão de potabilidade, o primeiro passo seria o aumento da concentração do cloro na saída da ETA, porém isso pode acarretar em outros problemas como a formação de subprodutos prejudiciais à saúde, como os trihalometanos (que serão melhores descritos posteriormente), e na percepção dos consumidores como no gosto, coloração e odor (SALGADO, 2008).

Na tentativa de se prever a concentração do cloro em função do tempo, modelos matemáticos foram desenvolvidos, concedendo às companhias de tratamento de água a possibilidade de otimização do sistema de desinfecção quanto a qualidade da água e ao uso de concentrações apropriadas do cloro (GARCIA DA SILVA e KISHI, 2003). No Quadro 11 estão relacionados os principais modelos de decaimento do cloro na água e os respectivos autores.

Equação	Autor referência	
$(\delta C_{Cl})/\delta t = -kC_{Cl}$	Johnson (1978)	(5)
$(\delta C_{Cl})/\delta t = -kC_{Cl}^2$	Powell <i>et al.</i> (2000)	(6)
$(\delta C_{Cl})/\delta t = -kC_{Cl}R$	Jadas-Hecart <i>et al.</i> (1992)	(7)
$(\delta C_{Cl})/\delta t = -kC_{Cl}^n$	Haas e Karra (1984)	(8)
$(\delta C_{Cl})/\delta t = -k(C_{Cl} - C_L)$	Haas e Karra (1984)	(9)
$(\delta C_{Cl})/\delta t = -k_1C_{Cl} - k_2C_{Cl}$	Haas e Karra (1984)	(10)
$C_{Cl} = C_{Cl1} + C_{Cl2}$	Haas e Karra (1984)	(11)
$(\delta C_{Cl})/\delta t = -k_1C_{Cl}R_1 - k_2C_{Cl}R_2$	Qualls e Johnson (1983); Kastl <i>et al.</i> (1999)	(12)

Em que: k = coeficiente de decaimento; C_{Cl} = concentração de cloro; R = concentração de reagentes que interagem com o cloro; n = potência do cloro; C_L = concentração máxima de cloro estável (não reagente); C_{Cl1} = concentração de cloro que reage rapidamente; C_{Cl2} = concentração de cloro que reage lentamente; k_1 = coeficiente de decaimento rápido; k_2 = coeficiente de decaimento lento; R_1 = concentração de reagentes que interagem com o cloro rapidamente; R_2 = concentração de reagentes que interagem com o cloro lentamente.

Quadro 11 – Principais modelos de decaimento do cloro em água.

Fonte: Adaptado de Sanabria e De Julio (2013).

O modelo mais utilizado é o representado pela Equação (5) pela sua simplicidade (GARCIA DA SILVA e KISHI, 2003), porém este não é considerado

muito preciso, pois não leva em consideração que a reação do cloro na água se dá em etapas diferentes, uma mais rápida e outra mais lenta, como no modelo da Equação (12), que para Fisher *et al.* (2011), é o que apresenta melhor acurácia.

Entretanto, para a utilização desses modelos, deve-se conhecer as características de cada ponto da rede de distribuição, e por isso se torna imprescindível a utilização de um modelo hidráulico calibrado que represente o sistema, além do que a reação das substâncias presente na água que interagem com o cloro são governadas por mecanismos específicos dependentes de diversos fatores como temperatura, concentração, pH (FONSECA, 2014).

Devido a essa complexidade, existem no mercado diversos softwares desenvolvidos para a modelagem hidráulica, visando facilitar a calibração do modelo matemático a realidade do sistema em que se está tentando otimizar, dentre eles estão o WaterCad, Epanet, Pipe2000, KYPipe e outros (GARCIA DA SILVA e KISHI, 2003).

Diversos são os trabalhos que utilizam os modelos de decaimento do cloro visando sua calibração e utilização em sistemas de distribuição de água de abastecimento para consumo humano existentes em diversas regiões, valendo ressaltar o de Garcia Da Silva e Kishi (2003), que analisou a rede de distribuição de uma região da cidade de Curitiba quanto à concentração de cloro que este trabalho também aborda, servindo de uma importante fonte de comparação.

3.8.2. Trihalometanos na água tratada

Os trihalometanos (THM) são compostos originados como subproduto das reações de oxidação da matéria orgânica pelo agente oxidante do processo de desinfecção da água (SALGADO, 2008). Sua fórmula geral é CHX_3 , onde X pode ser elemento halogenado como cloro, bromo e iodo ou combinações entre os três (TOMINAGA e MIDIO, 1999; ZARPELON e RODRIGUES, 2002; GOMES *et al.*, 2012). No Quadro 12 estão relacionados os principais THM's e suas formulações químicas.

Denominação	Fórmula Química
1 – Triclorometano / Clorofórmio (TCM)	CHCl ₃
2 – Bromodiclorometano (BDCM)	CHBrCl ₂
3 – Dibromoclorometano (DBCM)	CHBr ₂ Cl
4 – Tribromometano / Bromofórmio (TBM)	CHBr ₃
5 – Dicloriodometano	CHCl ₂ I
6 – Bromocloriodometano	CHClBrI
7 – Clorodiodometano	CHClI ₂
8 – Dibromiodometano	CHBr ₂ I
9 – Bromodiodometano	CHBrI ₂
10 – Triiodometano / Iodofórmio	CHI ₃

Quadro 12 – Trihalometanos.

Fonte: Salgado (2008).

Como subprodutos de sistemas de tratamento de água que utilizam o cloro como agente desinfetante, os THM's predominantes são os quatro primeiros do Quadro 7 (TOMINAGA e MIDIO, 1999; DUARTE e PINTO, 2008).

Como principais características, os THM's são, no geral, substâncias no estado líquido em temperatura ambiente, de forte odor, pouco solúveis em água e quimicamente estáveis (ZARPELON e RODRIGUES, 2002).

A sua formação em águas de abastecimento são influenciados por diversos fatores, sendo alguns deles: o tempo de exposição do cloro livre com a matéria orgânica presente na água; a temperatura do meio; o pH da água; a presença de bromatos; a concentração e o tipo de cloro dosado na água; concentração de matéria orgânica precursora de THM (ZARPELON e RODRIGUES, 2002; DUARTE e PINTO, 2008).

No Brasil, o Ministério da Saúde, através da Portaria MS nº2914/2011 estabelece que a concentração máxima permitida de THM's na água tratada é de 0,1 mg/L, sendo essa concentração a soma algébrica das concentrações de TCM, BDCM, DBCM e TBM (BRASIL, 2011). A Organização Mundial da Saúde estabelece concentrações máximas individuais das mesmas substâncias na água de abastecimento, conforme Quadro 13.

THM	Concentração
TCM	0,3 mg/L
TBM	0,1 mg/L
DBCM	0,1 mg/L
BDCM	0,06 mg/L

Quadro 13 – Limites de THM's pela OMS.

Fonte: WHO (2011).

A preocupação quanto a formação de THM's na água potável se deve ao fato de que são potencialmente prejudiciais a saúde humana quando sua longa exposição, sendo alguns dos efeitos de sua ingestão continuada demonstrada no Quadro 14.

Trihalometano	Efeito na saúde
Triclorometano	Tumores e câncer
Bromodiorometano	Infertilidade masculina, abortos
Dibromoclorometano	Tumores e câncer
Tribromometano	Tumores

Quadro 14 – Efeito dos principais THM's na saúde.

Fonte: Duarte e Pinto (2008).

Porém, apesar dos riscos à saúde dos THM's, nas concentrações regulamentadas pelo Ministério da Saúde, estes riscos são considerados menores do que a exposição aos possíveis patógenos presentes na água se não desinfetada (APDA, 2012).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para cumprimento dos objetivos propostos, facilitar a descrição e compreensão da medição de cloro residual na rede de distribuição, alguns fatores importantes foram levados em consideração. Em primeiro lugar, a necessidade de compatibilizar uma iniciativa que envolve extensa investigação de campo (consequentemente uma logística complexa) com o reduzido prazo de execução e a falta de recursos, características inerentes a um trabalho de conclusão de curso. Diante da inviabilidade de um monitoramento total da rede de distribuição de Curitiba, certas restrições foram tomadas, as quais serão descritas oportunamente nos tópicos a seguir.

4.1. MEDIÇÃO DOS PARÂMETROS

A definição dos pontos de coleta e análise obedeceu a uma pesquisa prévia a respeito dos mananciais de abastecimento de Curitiba. Assim, posteriormente foram escolhidos trechos da rede de distribuição vinculados a especificamente duas (do total de cinco) Estações de Tratamento de Água de Curitiba. Essa escolha se deu pela logística envolvida, visto a dimensão total do sistema de abastecimento alinhada à capacidade e viabilidade da coleta e análise de informações pelo grupo.

O processo de coleta consistiu em amostras semanais em pontos de consumo atendidos pela concessionária regional. Para determinação de tais pontos seguiram-se os critérios descritos sequencialmente:

1. Número de pontos compatíveis com o número de responsáveis pela retirada e análise da amostra, dentro de um prazo específico pelo calendário acadêmico com número suficiente de dados por ponto para uma possível análise estatística;
2. Determinação dos mananciais a serem adotados. Para uma análise mais específica determinou-se mananciais com diferentes graus de

degradação entre os que abastecem a cidade curitibana conforme classificação da SEMA;

3. Determinação das Estações de Tratamento de Água abastecidas pelos mananciais selecionados;
4. Determinação dos reservatórios atendidos pelas estações selecionadas. Como cada estação atende quantidade superior a 10 reservatórios, determinam-se pela logística de coletas, os pontos mais favoráveis à realização das coletas;
5. Determinação de pontos públicos ou com livre acesso pelos responsáveis pelas coletas. Foram selecionados pontos próximos, com distâncias menores que 500 m do reservatório, pontos intermediários com distância aproximada de 1500 m distante da reservação, e pontos mais distantes com até 2500 m de distância, para tentativa de análise de decaimento de cloro.

4.1.1. Escolha dos mananciais

Foram selecionados os mananciais do Passaúna e Iraí devido ao tempo disponível para o trabalho de conclusão de curso e pela logística envolvida nas medições. Verificou-se que o manancial mais degradado entre os relacionados é a Barragem do Sistema Iraí, que abastece a Estações de Tratamento de Água Iguaçu e Iraí. E a água captada com menor degradação, dentre os selecionados, é proveniente da Barragem do Passaúna, que atende a Estação de Tratamento de Água do Passaúna.

4.1.2. Pontos de coleta

Os pontos de coleta selecionados foram baseados em critérios das distâncias radiais aos reservatórios e facilidade de acesso, ou seja, pontos próximos a 500 m do reservatório, pontos intermediários em até 1,5 km do centro de reservação e pontos distantes até 2,5 km da reservação em locais públicos e/ou acessíveis, como postos de gasolina, estações tubos e praças. A coleta das amostras foi realizada no ponto disponível mais próximo da ligação predial e hidrômetro, tomando a precaução de que este ponto esteja a montante do reservatório do imóvel.

Na Figura 13 é apresentado a localização dos pontos de coleta e do reservatório do bairro Portão, sendo o ponto P1-PT na Avenida Wenceslau Braz, próximo ao shopping Palladium e os pontos P2-PT e P3-PT na Avenida República Argentina, em frente ao Hospital do Trabalhador e em frente ao Santuário São José do Capão Raso, respectivamente.

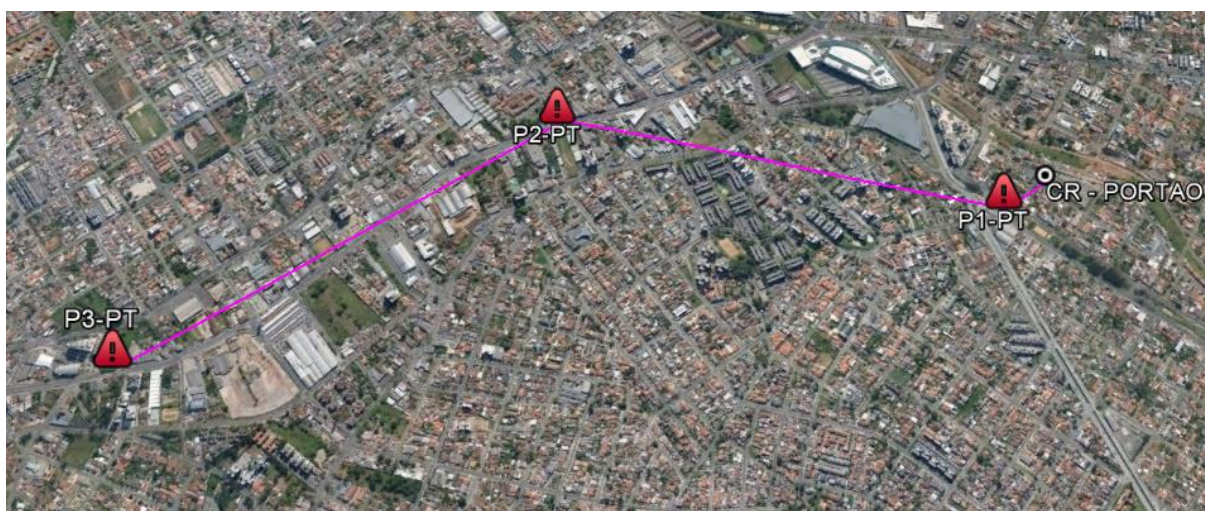


Figura 13 – Distribuição dos pontos de medição e reservatório - bairro Portão.
Fonte: Adaptado de Google (2014).

Na Figura 14 é apresentado a localização dos pontos de coleta e do reservatório do bairro Batel, sendo o ponto P1-PT próximo ao largo Hypérides Zanello, o ponto P2-PT na praça Miguel Couto, conhecida popularmente como

“pracinha do Batel” e P3-PT na Avenida República Argentina, próximo à estação-tubo Petit Carneiro.

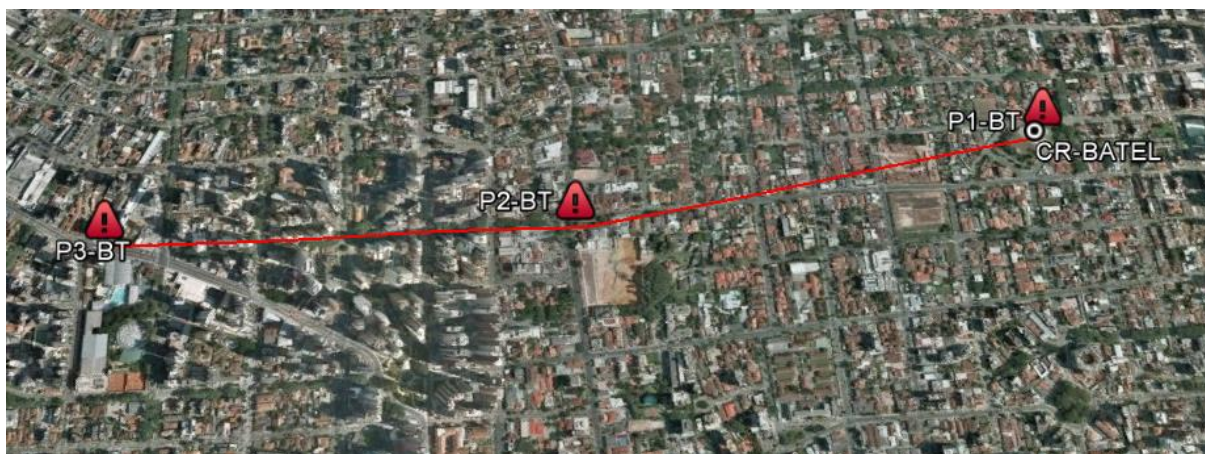


Figura 14 - Distribuição dos pontos de medição e reservatório - bairro Batel.
Fonte: Adaptado de Google (2014).

Na Figura 15 é apresentado a localização dos pontos de coleta e do reservatório do bairro São Braz, sendo o ponto P1-PT na esquina da rua Antônio Escorsin com rua Nicolau Boscardin, o ponto P2-PT na esquina da rua Antônio Escorsin e Avenida Toaldo Túlio e P3-PT na Avenida Toaldo Túlio, próximo ao viaduto da rodovia BR-277.

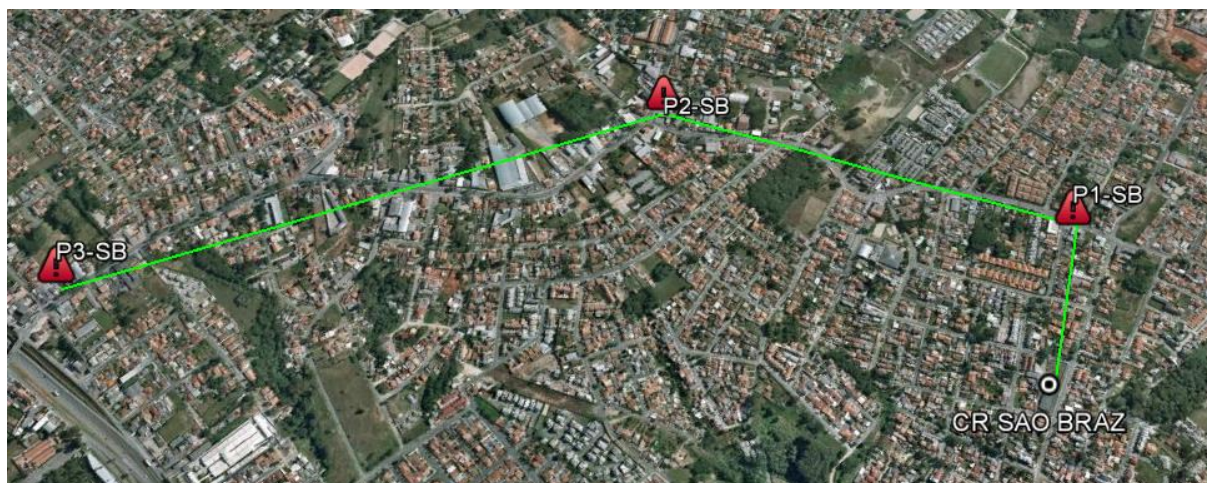


Figura 15 - Distribuição dos pontos de medição e reservatório - bairro São Braz.
Fonte: Google (2014).

Na Figura 16 é apresentado a localização dos pontos de coleta e do reservatório do bairro Campo Comprido, sendo o ponto P1-PT na esquina da rua João Dembinski com rua Frei Lívio Panizza, o ponto P2-PT na UTFPR campus Ecoville e P3-PT na rua Benedito Carolo, próximo a divisão de sinalização da Secretaria de Trânsito de Curitiba.

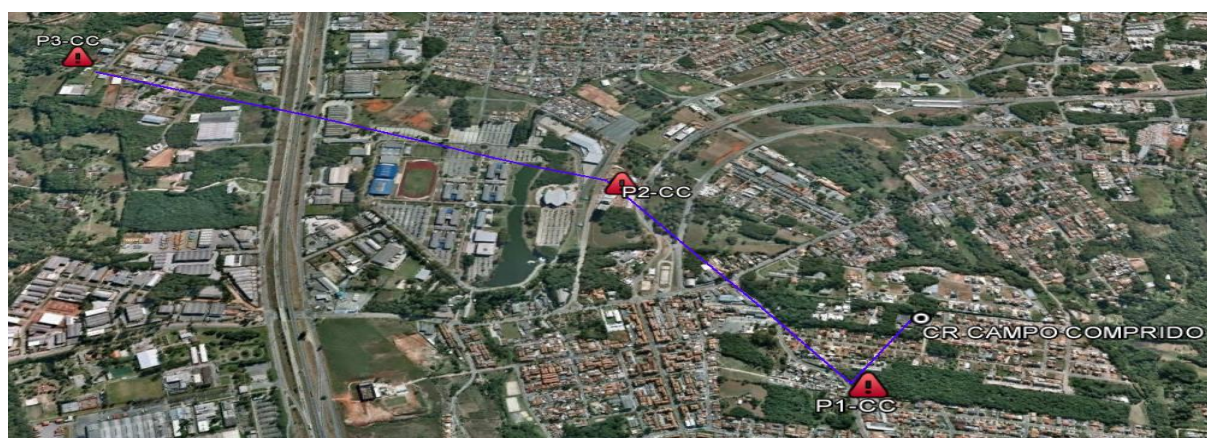


Figura 16 - Distribuição pontos de medição e reservatório - bairro Campo Comprido.
Fonte: Google (2014).

As informações dos pontos de coleta de amostra para controle de parâmetros encontram-se resumidas no Quadro 15.

Estação	Reservatório	Ponto	Coordenada	Distância Radial (m)	Endereço
Iguaçu	Batel	P1	25°26'9.73"S	235	Largo Hypérides Zanello
			49°17'49.27"O		
		P2	25°26'39.42"S	1004	Rua Desembargador Cons. Carvalho, 15
	49°17'30.85"O				
	P3	25°27'08.36"S	1970	Av. República Argentina, s/n	
		49°17'16.40"O			
	Portão	P1	25°29'44.17"S	175	Av. República Argentina, s/n
			49°17'40.05"O		
		P2	25°29'4.05"S	1165	Av. República Argentina, s/n
49°17'37.13"O					
P3		25°28'39.67"S	2329	Av. Wenceslau Braz, s/n	
		49°17'6.48"O			
Passaúna	Campo Comprido	P1	25°27'12.66"S	311	Rua João Dembinski, 568
			49°20'56.50"O		
		P2	25°26'36.49"S	1000	Rua Dep. Heitor Alencar Furtado, 5000
			49°21'11.57"O		
		P3	25°26'28.48"S	2532	Rua Benedito Carolo, 1251
			49°22'13.70"O		
	São Braz	P1	25°24'53.76"S	395	Rua Antônio Escorsin, 1046
			49°20'24.99"O		
		P2	25°25'7.79"S	1025	Rua Antônio Escorsin, 1996
			49°20'53.37"O		
		P3	25°25'45.97"S	2008	Av. Vereador Toaldo Túlio, 4638
			49°21'13.31"O		

Quadro 15 - Resumo dos pontos de coleta de amostra.
Fonte: Autoria própria.

4.1.3. Parâmetros analisados, frequência, equipamentos de medição

Os parâmetros analisados foram: cloro livre, cloro total, temperatura e pH (potencial hidrogeniônico), com auxílio de fotômetro portátil, termômetro, pHmetro e cronômetro. A periodicidade das amostras foi semanal, em um total de 19 semanas, sendo o fator limitante o tempo disponível para elaboração do trabalho de conclusão de curso.

O fotômetro utilizado foi o eXact Micro 7+ que possui exatidão de $\pm 2\%$ e resolução de 0,01 ppm, e utiliza tiras de papel com reagentes DPD-1 (para determinação de cloro livre em baixas concentrações) e DPD-3 (para determinação de cloro total), como exemplificado pela Figura 17.



Figura 17 – Equipamento para análise de cloro residual e total.
Fonte: Autoria própria.

Um fotômetro funciona pela emissão de luz numa solução, na qual os compostos dissolvidos e a água absorvem certas quantidades e frequências da luz emitida, e um receptor capta as ondas restantes. A absorção das radiações ultravioletas, visíveis e infravermelhas depende das estruturas das moléculas, e é característica para cada substância química. Sabendo-se então quais radiações foram absorvidas e suas quantidades pode-se estimar a composição da solução (CHAGAS, 2006).

O fotômetro utilizado emite luz por um diodo emissor de luz com comprimento de onda de 525 nm, que atravessa a cubeta plástica interna de 20 mm e uma fotocélula de silício capta a radiação. Padronizou-se o processo para

utilização do fotômetro da seguinte maneira: em cada ponto de coleta a torneira é aberta por um tempo mínimo de 30 segundos, para que a água presente na tubulação que liga o alimentador público até o ponto de consumo, a qual ficou por algum tempo parada nesse ponto e pode ter sofrido alterações na concentração de cloro, fosse expelida da tubulação.

Em seguida a cubeta do aparelho é lavada por três vezes, com a mesma água usada no ensaio, como indicado pelo fabricante, para limpeza e remoção de eventuais impurezas, e posteriormente preenche-se com a amostra a ser analisada.

O fabricante garante a calibração do aparelho no primeiro ano de uso, e recomenda sua calibração anual, via assistência técnica disponibilizada. O fotômetro necessita ser zerado antes de cada medida de cloro livre, portanto, após esse passo, a fita de reagente DPD-1 é inserida na solução e o botão "read" do aparelho foi acionado ao mesmo tempo. Assim, o aparelho começa uma contagem regressiva de 20 s. Neste intervalo de tempo a fita com o reagente deveria ser agitada na amostra para dissolução do material e homogeneização do conjunto.

Após esse processo a tampa da cubeta foi fechada para que a luz natural não interfira na medida do aparelho. Com uma breve espera a leitura da quantidade de cloro livre é mostrada no display do aparelho. Para simples conferência repete-se a leitura apertando o botão "read" novamente, em caso de divergência é feita mais uma leitura, em caso de nova divergência com os dois resultados anteriores esse dado é descartado e outra amostra seria tomada.

Ainda com a amostra e o reagente DPD-1 dissolvido dentro da cubeta do fotômetro foi feita a medida do cloro total. O processo consiste na dissolução do reagente DPD-3 através da imersão da fita dentro da solução e agitação por 2 minutos.

Após esse período a tampa é colocada e feita a medida da mesma forma que a de cloro livre. O processo para conferência de resultados é semelhante ao anterior. Assim que terminadas as medições a cubeta foi lavada em água corrente, este processo é análogo ao realizado no início da amostragem, porém a cubeta foi limpa com auxílio de cotonetes para eliminação de possíveis precipitados que aderiram as paredes, conforme sugestão do fabricante.

Para aferição do tempo transcorrido na dissolução dos reagentes foi utilizado um cronômetro simples, disponível nos aparelhos de telefone celular. Esse tipo de cronômetro foi utilizado pela facilidade de manuseio e pela não necessidade de uma precisão muito grande.

Logo que tomadas as medidas de cloro livre e cloro total, os dados são anotados e deu-se início o processo de obtenção de temperatura. Uma amostra de aproximadamente 200 mL é retirada do ponto de consumo e acondicionada em um copo de béquer de vidro e com o auxílio de um termômetro digital tipo espeto da fabricante Incoterm, ilustrado na Figura 18.



**Figura 18 – Termômetro tipo espeto INCOTERM.
Fonte: Autoria própria.**

A ponta de medição é imersa na amostra e a leitura é realizada assim que a estabilização da leitura for verificada, a variação de temperatura não deve ultrapassar 0,2°C. A precisão do termômetro utilizado é de 0,5 °C.

Na mesma amostra, assim que terminado o processo anterior, a sonda de medição do pHmetro é inserida e os dados coletados, em processo análogo da temperatura. A leitura só será realizada após estabilização, não variando acima de 0,2 a medida de potencial hidrogeniônico.

Para os dados referentes a pH foi utilizado o pHmetro portátil LABMETER modelo pH-100 (Figura 19), e este foi calibrado semanalmente em soluções tampão de pH 4,0 e 7,0 conforme instruções do fabricante ou quando em suspeita dos resultados, como leituras fora da faixa admissível na água pela Portaria do Ministério

da Saúde nº 2914/2011. Esta calibração consiste em lavar a ponta do eletrodo em água deionizada e secá-la com papel macio e absorvente e em seguida mergulhá-lo em solução tampão de pH 7,0, aguardar até a estabilização da leitura e checagem interna do aparelho. O mesmo procedimento foi adotado para solução tampão de pH 4,0. Os dados coletados estão disponíveis no capítulo de resultados.



Figura 19 – Equipamento para análise de pH.
Fonte: Autoria própria.

4.1.4. Análise Estatística

Para análise estatística dos dados foi utilizada a Teoria dos Erros junto com a distribuição gaussiana de probabilidade. Para tal, foi necessário calcular a média e o desvio padrão da distribuição e verificar se o modelo está conforme os desvios da distribuição Gaussiana, ou seja, que 68% dos dados coletados encontram-se no intervalo da média com variação positiva e negativa de um desvio padrão, sucessivamente para 95% e 99% com dois e três desvios de variação respectivamente. Para cálculo do desvio padrão foi utilizado a Equação (13) depois calcula-se através da Equação (14) a incerteza aleatória. Caso a distribuição não se encontre adequada, deve-se retirar as amostras com maiores desvios da média e recalculá-las, repetindo-se os passos até a adequação à Gaussiana. Caso o espaço

amostral seja menor que trinta amostras, devem ser corrigidos os dados conforme a distribuição de Student (VUOLO, 1992).

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x_i - m)^2}{n - 1}} \quad (13)$$

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (14)$$

Sendo:

σ - desvio padrão

x_i - valor coletado na amostra

m – média dos resultados

n – número de amostras

σ_x – incerteza aleatória

Após a análise estatística, foi calculada a incerteza padrão final, através da Equação (15), considerando a precisão do equipamento utilizado e o desvio padrão das amostras.

$$\sigma_f = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_r^2} \quad (15)$$

Sendo:

σ_x – incerteza aleatória

σ_r – incerteza do equipamento para medição

σ_f – incerteza final

Foram efetuadas análises estatísticas para cada ponto de amostragem (somente dados do ponto), para cada bairro (utilizando os dados dos 3 pontos que fazem parte do bairro), para cada ETA (utilizando os dados dos 2 bairros que são atendidos pela ETA), e com todos os pontos, a qual foi denominada neste trabalho de análise global.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Após as amostragens semanais, foram obtidos os dados de concentração de cloro livre, cloro total, pH e temperatura, os quais estão apresentados de forma resumida, respectivamente, nas Tabelas 1, 2, 3 e 4, com as médias, desvios padrão, número de amostras e valores mínimos e máximos por ponto monitorado. As medições detalhadas encontram-se nos Apêndices A, B, C e D, separados por bairro.

Tabela 1 - Resumo dos dados coletados da concentração de cloro livre.

Análise	Bairro	Ponto	Média	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Número de Amostras
Cloro Livre	Batel	P1	0,63	0,26	1,12	0,21	19
		P2	0,76	0,29	1,47	0,06	19
		P3	0,89	0,27	1,34	0,22	18
	Campo Comprido	P1	1,24	0,14	1,45	0,90	18
		P2	1,11	0,18	1,43	0,84	17
		P3	0,89	0,25	1,23	0,01	19
	Portão	P1	0,74	0,24	1,18	0,36	19
		P2	1,07	0,29	1,51	0,24	16
		P3	1,06	0,22	1,50	0,66	19
	São Braz	P1	1,15	0,14	1,50	0,87	18
		P2	1,14	0,15	1,43	0,90	18
		P3	0,98	0,24	1,38	0,35	17

Fonte: Autoria própria.

Tabela 2 - Resumo dos dados coletados da concentração de cloro total.

Análise	Bairro	Ponto	Média	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Número de Amostras
Cloro Total	Batel	P1	0,79	0,26	1,25	0,37	19
		P2	0,88	0,30	1,58	0,26	19
		P3	1,09	0,26	1,47	0,38	18
	Campo Comprido	P1	1,42	0,09	1,58	1,22	18
		P2	1,27	0,17	1,56	1,03	17
		P3	1,05	0,27	1,37	0,05	19
	Portão	P1	0,94	0,22	1,34	0,57	19
		P2	1,27	0,27	1,64	0,49	16
		P3	1,25	0,24	1,73	0,91	19
	São Braz	P1	1,32	0,09	1,46	1,04	18
		P2	1,30	0,08	1,43	1,14	18
		P3	1,26	0,18	1,60	0,94	17

Fonte: Autoria própria.

Tabela 3 - Resumo dos dados coletados de temperatura da água.

Análise	Bairro	Ponto	Média	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Número de Amostras
Temperatura	Batel	P1	21,7	2,9	28,4	17,3	19
		P2	20,1	2,8	24,3	16,2	19
		P3	21,2	3,2	28,7	16,5	18
	Campo Comprido	P1	20,8	2,7	25,7	16,8	18
		P2	20,0	2,7	24,3	15,9	17
		P3	21,3	3,5	27,6	14,8	19
	Portão	P1	24,1	4,3	31,9	17,7	19
		P2	21,6	3,0	26,6	16,5	16
		P3	22,0	3,0	27,8	16,7	19
	São Braz	P1	21,1	2,2	24,5	17,8	18
		P2	20,7	3,6	27,7	15,9	18
		P3	20,6	3,4	26,3	15,9	17

Fonte: Autoria própria.

Tabela 4 - Resumo dos dados coletados de pH.

Análise	Bairro	Ponto	Média	Desvio Padrão	Valor Máximo	Valor Mínimo	Número de Amostras
pH	Batel	P1	6,6	0,2	6,8	6,0	19
		P2	6,5	0,1	6,7	6,2	19
		P3	6,5	0,1	6,6	6,1	18
	Campo Comprido	P1	7,4	0,1	7,5	7,2	18
		P2	7,3	0,1	7,6	7,2	17
		P3	7,3	0,1	7,5	7,1	19
	Portão	P1	6,4	0,1	6,7	6,1	19
		P2	6,5	0,1	6,7	6,1	16
		P3	6,5	0,1	6,7	6,1	19
	São Braz	P1	7,3	0,1	7,5	7,2	18
		P2	7,5	0,1	7,8	7,3	18
		P3	7,3	0,2	7,3	6,8	17

Fonte: Autoria própria.

Realizaram-se os tratamentos estatísticos nos dados, conforme explicitado na metodologia, excluindo medições não realizadas por motivos técnicos, tais como abastecimento de água interrompido na região da coleta na data da pesquisa. Na Figura 20 é possível visualizar os bairros em que foram realizadas as amostras.

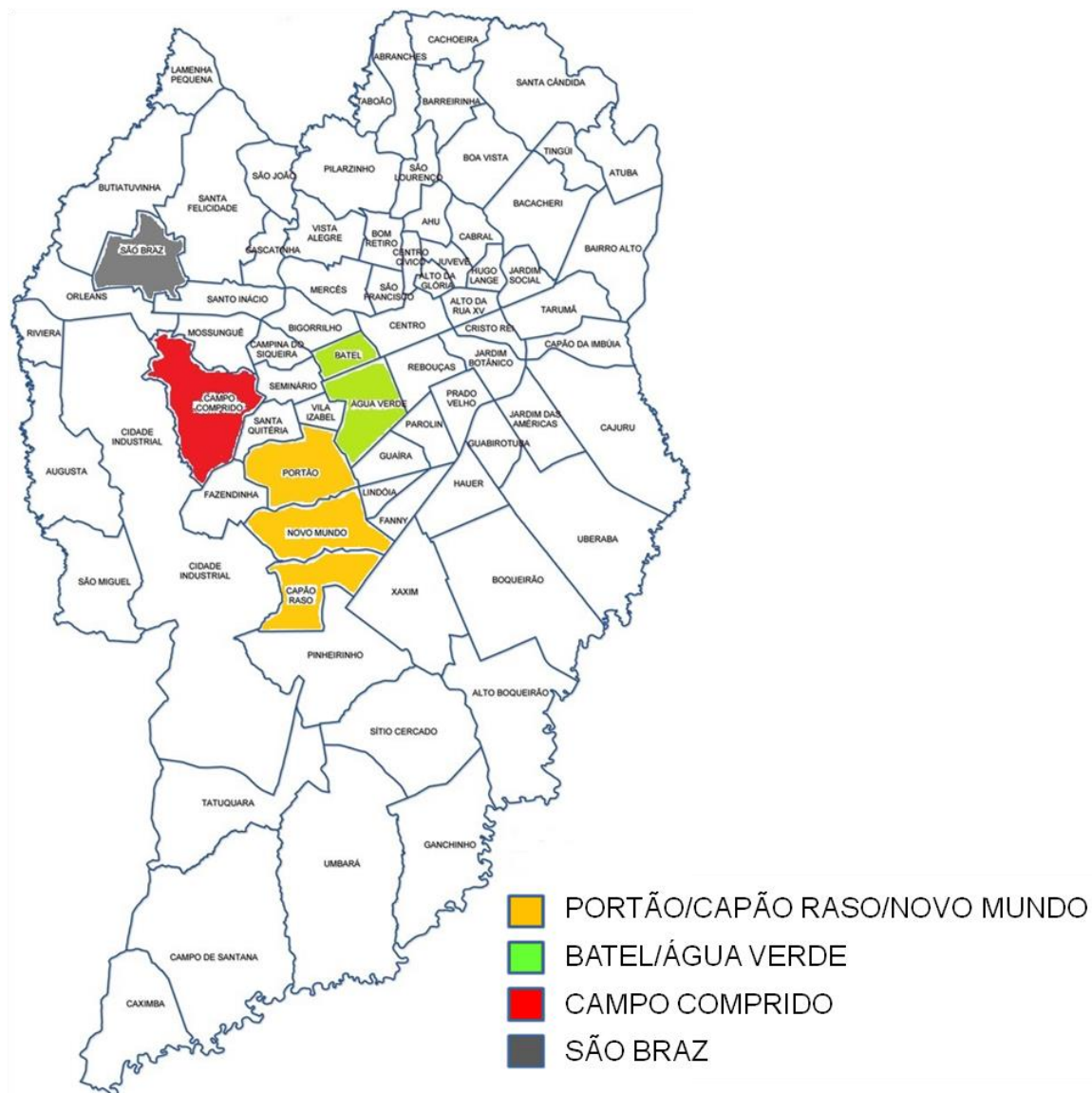


Figura 20 – Esquema dos Bairros Analisados
 Fonte: Adaptado IPPUC (2015).

Estes se encontram destacados em diferentes cores, sendo que os bairros Batel e Água Verde estão na mesma cor, pois, apesar do centro de reservação ser no Batel, ele atende, além do bairro onde se localiza o reservatório, o bairro Água Verde, e os pontos de coleta realizados são locados no bairro do Batel e Água Verde, o mesmo vale para o centro de reservação do Portão, com os bairros Portão, Novo Mundo e Capão Raso.

Foram efetuadas análises estatísticas para cada ponto de amostragem (somente dados do ponto), para cada bairro (utilizando os dados dos 3 pontos que fazem parte do bairro), para cada ETA (utilizando os dados dos 2 bairros que são atendidos pela ETA), e com todos os pontos, a qual foi denominada neste trabalho de análise global.

5.2. RESULTADOS DO MONITORAMENTO

Para as medidas de cloro livre e cloro total, observou-se distribuição aproximada a da distribuição de Gauss para as análises globais (Figura 21 e Figura 22), por ETA e por bairro. Entretanto, isso não ficou evidente na análise de cada ponto, o que pode ser explicado pelo número reduzido de amostras.



Figura 21 - Curva de distribuição da análise global do teor de cloro livre.
Fonte: Autoria própria.



Figura 22 - Curva de distribuição da análise global do teor de cloro total.
Fonte: Autoria própria.

Já as medidas de pH, na análise global, apresentaram distribuição que se assemelha a junção de duas distribuições gaussianas (Figura 23), evidenciando a existência de duas faixas distintas de valores de pH. Quando analisa-se por ETA, percebe-se que a distribuição se aproxima a de uma normal, tanto para os pontos atendidos pela ETA Passaúna (Figura 24), que apresentou pH médio de $7,4 \pm 0,2$, quanto para os pontos atendidos pela ETA Iguaçu (Figura 25), com pH médio de $6,5 \pm 0,2$, sugerindo que o valor do pH está relacionado com o sistema produtor. As análises pontuais do pH apresentaram o mesmo desfecho das análises pontuais de cloro livre e cloro total, ou seja, também não ficou evidente uma distribuição gaussiana para todos os casos, o que novamente pode ser explicado pelo número reduzido de amostras e pela resolução do pHmetro.

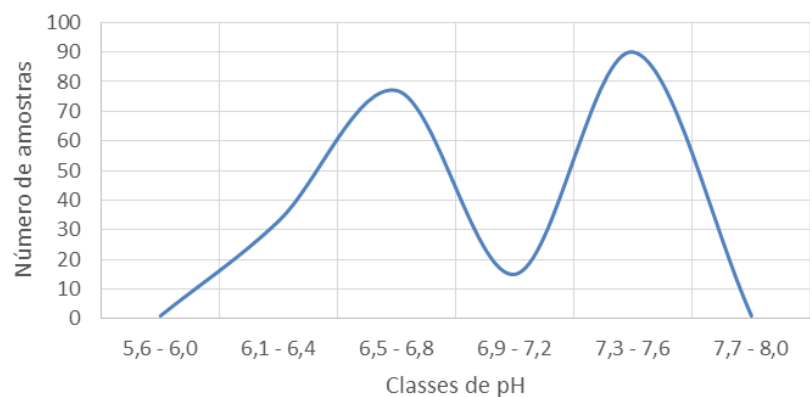


Figura 23 - Curva de distribuição da análise global do pH.
Fonte: Autoria própria.

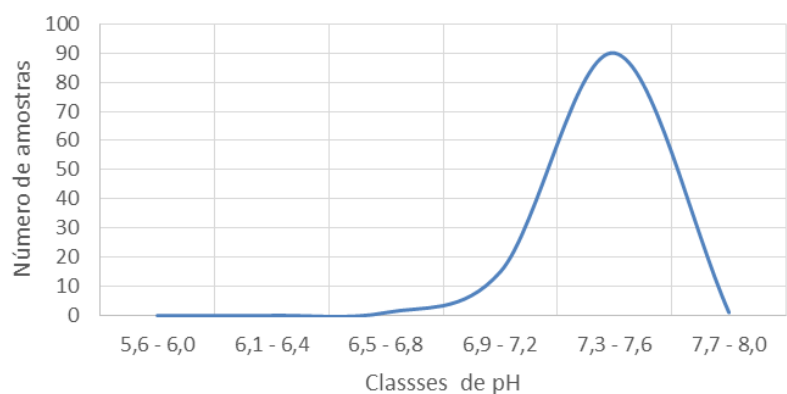


Figura 24 - Curva de distribuição da análise do pH dos pontos atendidos pela ETA Passaúna.
Fonte: Autoria própria.

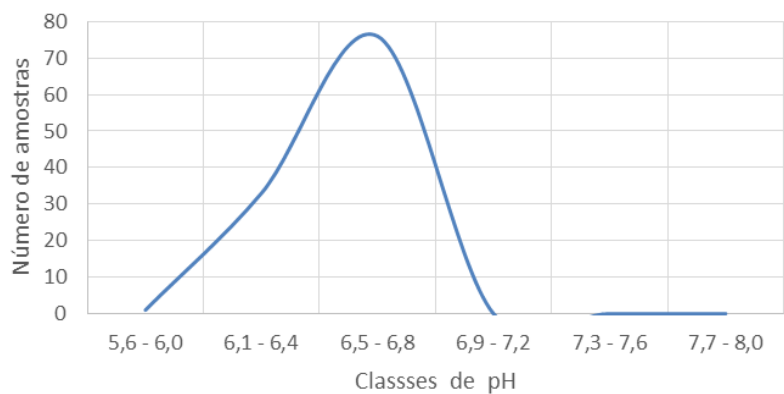
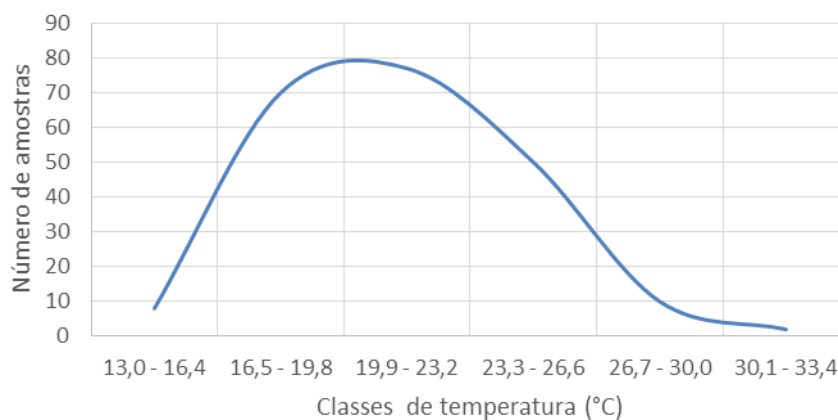


Figura 25 - Curva de distribuição da análise do pH dos pontos atendidos pela ETA Iguaçu.
Fonte: Autoria própria.

Após análise global (Figura 26), por ETA e por bairro das medidas de temperatura, também se verifica aproximação da distribuição a de uma curva normal.



**Figura 26 - Curva de distribuição da análise global da temperatura da água.
Fonte: Autoria própria.**

Para prosseguimento da análise dos dados, foram consideradas que todas as distribuições deste trabalho se assemelham com o modelo de Gauss, obtendo-se as médias e erros para dois desvios, que estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Análise dos dados coletados.

		Cloro Livre (mg/L)		Cloro Total (mg/L)		Temperatura (°C)		pH	
		Média	$\pm 2 \sigma$	Média	$\pm 2 \sigma$	Média	$\pm 2 \sigma$	Média	$\pm 2 \sigma$
Por Ponto	Batel - P1	0,63	0,12	0,79	0,12	21,7	1,7	6,6	0,2
	Batel - P2	0,76	0,14	0,88	0,14	20,1	1,6	6,5	0,2
	Batel - P3	0,89	0,13	1,09	0,12	21,2	1,9	6,5	0,2
	C. Comprido - P1	1,24	0,07	1,42	0,05	20,8	1,6	7,4	0,2
	C. Comprido - P2	1,11	0,09	1,27	0,08	20,0	1,7	7,3	0,2
	C. Comprido - P3	0,89	0,12	1,05	0,13	21,3	1,9	7,3	0,2
	Portão - P1	0,74	0,11	0,94	0,11	24,1	2,3	6,4	0,2
	Portão - P2	1,07	0,15	1,27	0,14	21,6	1,9	6,5	0,2
	Portão - P3	1,06	0,10	1,25	0,11	22,0	1,7	6,5	0,2
	São Braz - P1	1,15	0,07	1,32	0,05	21,1	1,5	7,3	0,2
	São Braz - P2	1,14	0,07	1,30	0,04	20,7	2,0	7,5	0,2
	São Braz - P3	0,98	0,12	1,26	0,09	20,6	2,0	7,3	0,2
Por Bairro	Batel	0,76	0,08	0,92	0,08	21,0	1,3	6,5	0,2
	Campo Comprido	1,08	0,07	1,24	0,07	20,7	1,3	7,3	0,2
	Portão	0,95	0,08	1,15	0,08	22,6	1,4	6,4	0,2
	São Braz	1,09	0,05	1,29	0,03	20,8	1,3	7,4	0,2
Por ETA	Iguaçu	0,86	0,06	1,03	0,06	21,8	1,2	6,5	0,2
	Passaúna	1,08	0,04	1,27	0,04	20,8	1,2	7,4	0,2
	Global	0,97	0,04	1,15	0,04	21,3	1,1	6,9	0,2

Fonte: Autoria própria.

Verifica-se na Tabela 5, na análise global, que o teor de cloro livre nos pontos de consumo, é em média $0,97 \pm 0,04$ mg/L, ou seja, superior ao limite mínimo exigido pela Portaria MS nº2914/2011 de 0,2 mg/L e inferior ao máximo exigido de 2,0 mg/L. Para pH a média obtida foi de $6,9 \pm 0,2$, dentro da faixa recomendada de 6,0 a 9,5. Sendo assim, conclui-se que a Companhia de Saneamento Básico que abastece a capital paranaense atende a legislação vigente com confiança de 95% na região analisada.

Analisando o teor de cloro livre, o ponto com a menor média foi o Batel-P1, com $0,63 \pm 0,12$ mg/L, ou seja, superior ao mínimo exigido pela legislação, sendo este o ponto mais crítico analisado. E o ponto com maior média foi o Campo Comprido-P1, com $1,24 \pm 0,07$, inferior ao máximo exigido.

Cabe ressaltar que nas 217 amostras coletadas, apenas 2 estavam abaixo do teor mínimo de cloro livre estipulado na Portaria MS nº 2914/2011, ou seja, tais dados apresentam insignificância dentro o espaço amostral deste trabalho, e podem ser justificados por problemas técnicos da concessionária ou problemas na execução dos procedimentos operacionais para realização do ensaio.

Foram observadas diferenças significativas entre as médias dos teores de cloro livre, cloro total e pH, quando comparados entre bairros e ETA's, conforme está apresentado na Tabela 5. Na Tabela 6 é possível visualizar as comparações estatísticas das médias e erros para uma confiança de 95%, entre bairros e estações de tratamento sobre os parâmetros medidos em campo.

Tabela 6 - Comparação estatística dos resultados entre os bairros e ETA's para 2 desvios.

	Cloro Livre	Cloro Total	Temperatura	pH
Batel x Campo C.	Diferentes	Diferentes	Iguais	Diferentes
Batel x Portão	Diferentes	Diferentes	Iguais	Iguais
Batel x São Braz	Diferentes	Diferentes	Iguais	Diferentes
Campo C. x Portão	Diferentes	Iguais	Iguais	Diferentes
Campo C. x São Braz	Iguais	Iguais	Iguais	Iguais
Portão x São Braz	Diferentes	Diferentes	Iguais	Diferentes
Iguaçu x Passaúna	Diferentes	Diferentes	Iguais	Diferentes

Fonte: Autoria própria.

Com o apresentado na Tabela 5 e Tabela 6 não é possível verificar a existência de alguma correlação da temperatura com os demais parâmetros, uma vez que o erro da medida de temperatura já é superior à maior diferença encontrada na variação entre as temperaturas médias dos bairros, não sendo possível afirmar que tais valores são diferentes.

Como esperado, sistemas produtores diferentes apresentaram parâmetros diferentes, como indica a comparação entre as ETA's Iguaçu e Passaúna na Tabela 6. Essas diferenças podem ser decorrentes da qualidade da água bruta, dosagens de produtos químicos na estação, tempo de contato para aplicação do desinfetante,

extensão, material e ramificações da rede de abastecimento e possíveis interferências durante o trajeto da água no sistema.

Integrando essa análise, percebe-se também diferença significativa entre médias de pH na comparação rede abastecida por determinada estação, obtendo um resultado de menor pH para sistema produtor (ETA) com menor teor de cloro livre e total, entretanto para ambas as análises não temos vias de afirmar que essa relação é devido ao processo de desinfecção, podendo ser devido à correção de pH realizada na estação, através de produtos químicos.

Era esperado que os bairros abastecidos pelo mesmo sistema produtor apresentassem similaridade de parâmetros, como ocorreu com os bairros São Braz e Campo Comprido, porém não com Batel e Portão.

Comparando as regiões do Campo Comprido e São Braz, todos os parâmetros são iguais estatisticamente, o que sugere que além de serem atendidos pela mesma estação de tratamento, os pontos escolhidos são sequenciais e estão a distâncias parecidas entre si, além da rede possuir características semelhantes, como estimado inicialmente.

Na comparação entre os bairros Portão e Batel, nota-se que existe diferença no teor de cloro livre e cloro total, porém existe igualdade no valor do pH, já desconsiderando a comparação da temperatura pelo descrito acima. Uma possibilidade para essa diferença pode ser devido a ramificação e complexidade da rede. Ao contrário do que se havia estimado, os pontos não são subsequentes, ou ainda, algum ponto pode ser abastecido por um reservatório diferente dos dois escolhidos neste trabalho. O parâmetro pH sugere que o sistema produtor é o mesmo para os dois bairros.

Freitas, Brilhante e Almeida (2001) obtiveram dados insatisfatórios tanto em cloro livre quanto pH em pesquisa realizada na rede de abastecimento da região metropolitana da cidade do Rio de Janeiro. Na época da pesquisa, a legislação vigente era a Portaria MS nº36/1990, que estipulava teor mínimo de cloro livre em 0,2 mg/L, mesma concentração da Portaria MS nº2914/2011. Já a faixa recomendada de pH, era entre 6,5 a 8,5, diferente da atual, que alterou para 6 a 9,5. Cabe ressaltar que não era estipulado teor máximo de cloro livre na legislação

da época, entretanto na atual, o valor é de 2 mg/L, portanto, os valores obtidos acima de 2 mg/L, na época, atendiam o padrão de potabilidade.

A inclusão de um limite para o teor de cloro livre máximo no padrão de potabilidade vem de encontro com estudos sobre a formação de compostos trihalometanos (THM'S), que podem ser prejudiciais à saúde humana pelo consumo contínuo (DUARTE E PINTO, 2008).

O não atendimento à legislação na época da pesquisa realizada por Freitas, Brilhante e Almeida (2001), pode ser justificado por dois prováveis motivos: a metodologia e o local da pesquisa. Pois o procedimento do trabalho supracitado deu-se em realizar amostras em pontos críticos da rede, como pontos de maior cota, com proximidade de ligações clandestinas e com faltas d'água sistemáticas. Além disso, conforme relatado nos procedimentos metodológicos, algumas amostras eram realizadas a jusante da caixa d'água da residência onde fora realizada a coleta, o que pode alterar significativamente os dados devido ao comportamento de decaimento do cloro em reservatórios, e do estado de conservação do sistema de água fria domiciliar.

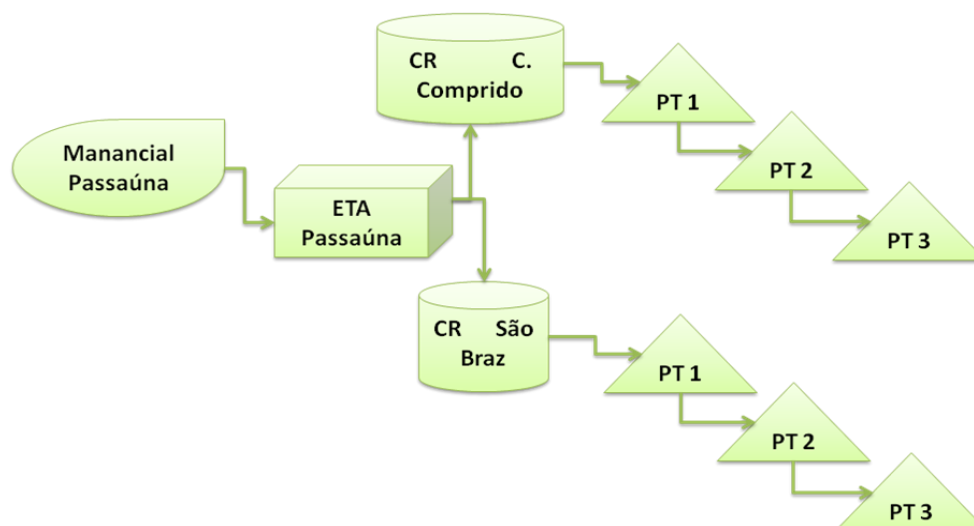
Comparando com Freitas, Brilhante e Almeida (2001), cabe ressaltar, as diferenças operacionais entre as Companhias Estaduais do Paraná e do Rio de Janeiro, além da época de realização da pesquisa, que fora realizada 14 anos atrás, e as diferenças de equipamentos, automações, centrais de controle operacional, itens tecnológicos como um todo, são relevantes nesse período. Tais itens salientados podem ter contribuído para as grandes variações de resultados obtidos tais como amostras sem cloro livre ou pH abaixo de 4.

Silva (2008), também obteve resultados abaixo do recomendado pela legislação vigente na época, Portaria MS nº 518/2004 que apresenta teores máximos e mínimos de cloro livre iguais a Portaria MS nº 2014/2011. Tal resultado pode ser justificado, pois o local analisado era independente do sistema de abastecimento público, utilizando para abastecimento de água um poço com equipamento para cloração operado pela própria universidade. Ainda é difícil correlacionar os dados obtidos por Silva (2008) com a Portaria MS nº 518/2004, visto que, as amostras foram coletadas em áreas internas a edificação, enquanto os valores preconizados pela normativa são para redes de abastecimento público.

Apesar de Silva (2008) ter constatado uma correlação entre o decréscimo do cloro com o aumento de pH, tal resultado não se demonstrou verdadeiro neste trabalho, onde notou-se que o pH está correlacionado ao sistema produtor, não com o teor de cloro livre, ou seja, com o tratamento realizado na ETA e características da água bruta. Não sendo possível correlacionar diretamente o pH com o teor de cloro livre sem conhecimento de tais variáveis.

Mesmo não sendo um dos objetivos do presente trabalho, é relevante considerar que entre os pontos 1 a 3 do bairro Campo Comprido e 2 e 3 do Bairro São Braz, houve decaimento do teor de cloro livre conforme a distância do reservatório, ou seja, no ponto número 1, que se localizava próximo ao reservatório (cerca de 500 m a jusante) possuía concentração de cloro livre superior aos pontos 2 e 3, com 1000 m e 2000 m de distância radial aproximada, respectivamente, entretanto no bairro São Braz os pontos 1 e 2 são estatisticamente iguais, não podendo ser afirmado que houve decaimento.

Ressalta-se que a análise de decaimento tornou-se bastante superficial, pois não se teve acesso ao cadastro da rede existente da Companhia de Saneamento, portanto é possível perceber o decaimento somente pelos resultados amostrais e análise estatística, supondo então, que a configuração da rede de abastecimento de água é similar à proposta na Figura 25, para os bairros Campo Comprido e São Braz.



**Figura 27 - Provável sentido do fluxo de água nos pontos do Campo Comprido e São Braz.
Fonte: Autoria própria.**

Tal configuração é esperada tanto pela análise estatística do teor de cloro livre nos pontos, quanto pela análise topográfica do local, estando os reservatórios em cotas superiores aos locais de coleta, e estes em distâncias progressivas do centro de reservação. Isso sugere que o fluxo da rede aproveita as diferenças de cotas para distribuição da água, estimando, então, que o ponto 2 esteja a jusante do 1 e montante do ponto 3. No bairro do São Braz, apesar dos dados entre os pontos 1 e 2 serem estatisticamente iguais, a topografia sugere a configuração proposta.

6 CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos de forma experimental e das análises estatísticas verificou-se que os pontos amostrados atendem a Portaria MS 2914/2011 dentro dos parâmetros de concentração de cloro livre, nos teores máximos e mínimos, e a faixa recomendada de pH, com 95% de confiança.

É importante ressaltar, que as coletas foram realizadas próximo ao ponto de hidrometação dos usuários, ou seja, sem interferência das reservas individuais, em pontos de responsabilidade da concessionária e com obrigatoriedade legal de atendimento dos parâmetros supracitados.

Com os dados coletados neste trabalho, pode-se perceber relação entre o pH da água com o sistema produtor, ou seja, nos pontos abastecidos pela mesma ETA foram medidos pH semelhantes, mas com teores de cloro livre variados, portanto não sendo possível relacionar este parâmetro com o teor de cloro livre.

Ainda é relevante perceber que diferentes estações de água, apesar de operadas pela mesma concessionária e com processos de tratamento bastante similares, possuem diferenças significativas na concentração de cloro livre nas redes abastecidas. Todavia, não foi possível correlacionar o teor de cloro livre com parâmetros de qualidade de água bruta do manancial captado. Esperava-se que mananciais com maior degradação, necessitassem de maiores teores de cloro no processo de desinfecção, portanto maiores concentrações nas redes de distribuição, porém este comportamento não foi observado nos pontos amostrados.

Seguindo esta mesma linha, também não foi possível concluir qual fator preponderante para as diferenças significativas entre as médias de cloro residual entre dois bairros próximos e atendidos pela mesma ETA, tal como aconteceu no bairro Batel e Portão.

Não foi possível verificar a interferência da temperatura com os teores de cloro, nem com o pH, pois o erro atribuído a medição é superior a variação das médias entre os pontos, bairros e estações. Este fator pode ter sofrido influência de fatores climáticos, como a temperatura ambiente no momento da coleta. Para uma pesquisa futura, sugere-se que seja realizado maior número de amostras, em períodos com baixa amplitude térmica e aliar a medida de temperatura ambiente,

para relações ou correções com a temperatura da água e redução do erro de medição.

As dificuldades encontradas para conclusões mais precisas a respeito das correlações do teor de cloro livre com demais parâmetros estudados são justificadas pela falta de informação a respeito do cadastro da rede de abastecimento existente, pelo desconhecimento dos parâmetros de água bruta e das dosagens de produtos químicos aplicados nas estações de tratamento. Bem como os pontos de repressurização ao longo do sistema, nós da rede, áreas de atendimento de cada reservatório, válvulas redutoras de pressão, válvulas de manobra, além do sentido de fluxo selecionado no dia, que pode sofrer alterações constantes conforme a necessidade operacional da concessionária, como manutenção e ampliação do sistema.

Apesar da falta de informação da rede de abastecimento, obtiveram-se resultados expressivos quanto ao decaimento de cloro em duas regiões abastecidas pela mesma estação, sendo eles o São Braz e Campo Comprido, que são integrantes do Sistema de Abastecimento do Passaúna. Entretanto, o mesmo resultado não foi obtido nos bairros Portão e Batel, sendo uma provável explicação o sentido de fluxo da rede de abastecimento proposto na metodologia não ser o mesmo existente nessa região, ou seja, a sequência de jusantes e montantes pode não ser a proposta inicialmente. Ainda, alguns pontos podem ser abastecidos por outro reservatório.

Como sugestões para trabalhos futuros relacionados ao tema, sugere-se elaborar a pesquisa de campo em rede de abastecimento de água com caminhamentos, fluxo, acessórios, parâmetros operacionais e dosagens conhecidas para possibilitar uma análise conclusiva sobre o decaimento do teor de cloro livre e sua correlação com pH. Para verificação do atendimento da norma, sugere-se que as amostras sejam realizadas em pontos críticos da rede, e para isso também deve ser conhecido o projeto do sistema.

REFERÊNCIAS

ACCIONA. Catálogo de serviços. 2014. Disponível em: < <http://www.accionacom.br> >. Acesso em: 10 mai 2014.

ANA. Atlas Brasil -Abastecimento urbano de água - Região metropolitana de Curitiba. 2014. Disponível em: < <http://www.ana.gov.br> >. Acesso em: 25 mai 2014.

APDA. **FT-QO-01-Trihalometanos**. 2012

AQUINO, V. D. Mercado de filtros cresce e mantém otimismo para 2014. **Revista Meio Filtrante**, v. 66, 2014.

AROEIRA, R. D. M. **Plano Municipal de Saneamento de Belo Horizonte 2008/2011: Atualização 2010**. Belo Horizonte: Prefeitura de Belo Horizonte, 2010.

ASSIRATI, D. M. **ÁGUA MINERAL. DNPM - Sumário Mineral**, 2013.

BELLINGIERI, J. C. Água de beber: a filtração doméstica e a difusão do filtro de água em São Paulo. **Anais do Museu Paulista**, v. 12, 2004.

BRASIL. **Resolução Nº 357/2005: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. 357/2005**. CONAMA. Brasília: Diário Oficial da União 2005.

_____. **Portaria MS nº36/1990: Procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. MS nº36/1990**. SAÚDE, M. D. Brasília: Diário Oficial da União 1990.

_____. **Portaria MS nº518/2004: Procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. MS nº518/2004**. SAÚDE, M. D. Brasília: Diário Oficial da União 2004.

_____. **Portaria MS nº2914/2011: Procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. MS nº2914/2011**. SAÚDE, M. D. Brasília: Diário Oficial da União 2011.

CEDAE. **Estação de tratamento de água do Guandu: A maior do mundo!** Rio de Janeiro: CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos 2014.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO.
Microbiologia ambiental. São Paulo: CETESB, 1992.

CHAGAS, I. P. **Desenvolvimento de um fotômetro portátil NIR para determinação do teor de água no álcool combustível e do teor de etanol na gasolina.** 2006. Instituto de Química, UNICAMP, Campinas.

CLARK, R.; ROSSMAN, L. A.; WYNER, L. J. Modeling distribution system water quality: Regulatory implications. **Journal of water resources planning and management**, v. 121, 1995.

CMAI. **Chemical Markets Associates, Inc.** CMAI. 2008

DAE-SCS. Sistema Cantareira. 2014. Disponível em: < <http://www.daescs.sp.gov.br> >. Acesso em: 01 ago 2014.

DANIEL, L. A. **Processo de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável.** 1ª. São Carlos: PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico, 2001.

DEGREMONT. 2014. Disponível em: < <http://www.degremont.com.br> >. Acesso em: 10 mai 2014.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** Rima, 2005.

DI BERNARDO, L.; PAZ, L. P. S. **Seleção de tecnologias de tratamento de água.** São Carlos: LDiBe, 2008.

DUARTE, A. A. L.; PINTO, J. A. D. S. Aplicação de modelos matemáticos no controlo da formação de trihalometanos em águas de abastecimento. **XIII SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental**, 2008.

DWD. COUNCIL DIRECTIVE 98/83/EC of 3 November 1998 on the quality of water intended for human consumption. **Official Journal of the European Communities**, 1998.

FERNANDES, E.; GLÓRIA, A. M. D. S.; GUIMARÃES, B. D. A. O setor de soda-cloro no Brasil e no mundo. **BNDES - Setorial**, v. 29, 2009.

FREITAS M; BRILHANTE, O; ALMEIDA, L. Importância da análise de água para a saúde pública em duas regiões do estado do Rio de Janeiro: enfoque para coliformes fecais, nitrato e alumínio. **Cad. Saúde Pública, Rio de Janeiro**, 2001.

FISHER, I.; KASTL, G.; SATHASIVAN, A. Evaluation of suitable chlorine bulk-decay models for water distribution systems. **Water research**, v. 45, n. 16, 2011.

FONSECA, D. L. **Modelagem hidráulica e de cloro residual em redes de distribuição de água: uma discussão sobre a implementação de modelos detalhados**. 2014. Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

GARCIA DA SILVA, K. R.; KISHI, R. T. Modelagem matemática do cloro em redes de distribuição de água. **Sanare: Revista técnica da Sanepar**, v. 19, n. 19, 2003.

GOMES, A.; BRAZ, M. R.; DA COSTA FILHO, A. Método alternativo para análise de cloro em água - sugestão de aula prática. **III Encontro Nacional de Ensino de Ciências da Saúde e do Ambiente**, 2012.

GOOGLE. **Google Earth**: Google. Versão 7.1 2014.

IPPUC. Downloads. 2015. Disponível em: < <http://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm> >. Acesso em 02 jan 2015.

JANUÁRIO, G. F. **Planejamento e aspectos ambientais envolvidos na disposição final de lodos de estações de tratamento de água da região metropolitana de São Paulo**. 2005. Escola Politécnica, USP, São Paulo.

LVQ-UNESP. Cloro. 2014. Disponível em: < <http://www2.fc.unesp.br/lvq> >. Acesso em: 18 mai 2014.

MILLS, I. et al. **Quantities, units and symbols in physical chemistry**. 2ed. IUPAC - International Union of Pure and Applied Chemistry, 1993.

MORAES, J. P. D. **Eletrólise da salmoura para geração de cloro empregando cátodos de difusão de oxigênio modificados com ferro**. 2011. Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas.

PAULI, D. R. **TCTP - Melhores Práticas Operacionais: O saneamento no Brasil**. São Paulo: SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo 2008.

PIRES, M. R. **Desinfecção de água para abastecimento com radiação ultravioleta: eficiência bactericida e uma análise econômica e energética.** 1997. Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas.

PÁDUA, V. L. D. **Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano.** 1ª. Belo Horizonte: PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico, 2009.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. D. **Tratamento de água: tecnologia atualizada.** São Paulo: Blucher, 1991.

SALGADO, S. R. T. **Estudo dos parâmetros do decaimento do cloro residual em sistema de distribuição de água tratada considerando vazamento.** 2008. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

SANABRIA, J. M.; DE JULIO, M. Decaimento do cloro residual em águas de abastecimento do município de Campo Grande/MS. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 5, n. 4, 2013.

SANEPAR. **PSA - Plano de segurança da água:** SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná 2012a.

_____. **PSA - Plano de segurança da água - sistema Passaúna:** SANEPAR - Companhia de Saneamento do Paraná 2012b.

_____. Datas significativas da memória histórica do saneamento do Paraná. <http://site.sanepar.com.br>, 2014a. Acesso em: 10 jun 2014.

_____. Galeria de imagens. 2014b. Disponível em: < <http://site.sanepar.com.br> >. Acesso em: 01 ago 2014.

SEMA. Ações de monitoramento do IAP em reservatórios. 2014. Disponível em: < <http://www.meioambiente.pr.gov.br> >. Acesso em: 25 mai 2014.

SILVA, R.; KARKOTLI, G. **Manual de metodologia científica do USJ 2011-1.** São José: Centro Universitário Municipal de São José - USJ, 2011.

TOMINAGA, M. Y.; MIDIO, A. F. Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada. **Revista de Saúde Pública**, v. 33, n. 4, p. 413-421 %@ 0034-8910, 1999.

TRIMBOLI, M. J. **Aplicação e análise de um modelo de qualidade de água para a determinação da concentração de cloro livre residual em um setor de**

abastecimento de água. 2006. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, Campinas.

USEPA. **National Primary Drinking Water Regulations: Disinfectants and Disinfection Byproducts:** USEPA- United States Environmental Protection Agency. RIN 2040-AB82 1998.

USEPA - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **EPA-815/R-99-014: Guidance manual alternative disinfectants and oxidants.** EPA-815/R-99-014. Washington: USEPA 1999.

VICTORINO, C. J. A. **Planeta água morrendo de sede: uma visão analítica na metodologia do uso e abuso dos recursos hídricos.** 2007. PUC, Porto Alegre.

VIEIRA, P.; COELHO, S. T.; LOUREIRO, D. Accounting for the influence of initial chlorine concentration, TOC, iron and temperature when modeling chlorine decay in water supply. **Journal of Water Supply**, v. 53, n. 7, 2004.

VUOLO, JOSÉ HENRIQUE. Fundamentos da teoria de erros. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, SP. 2a Ed. 1992.

WHITE, G. C. U. **Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants.** 5 ed. New Jersey: Wiley, 1998.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for drinking-water quality: fourth edition.** 4ed. World Health Organization, 2011.

ZARPELON, A.; RODRIGUES, E. M. Os trihalometanos na água de consumo humano. **Sanare: Revista técnica da Sanepar**, v. 17, n. 17, 2002.

APÊNDICE A – Dados Coletados nas Medições no Bairro Batel

DADOS COLETADOS															
Bairro:								Batel							
Data	Ponto 1				Ponto 2				Ponto 3						
	Hora	Cloro Livre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	Hora	Cloro Livre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	Hora	Cloro Livre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)	Temperatura (°C)	pH
09/08/14	16:30	1,00	1,14	17,30	6,6	16:45	0,98	1,13	16,70	6,5	17:00	1,01	1,19	17,70	6,5
16/08/14	14:05	1,12	1,25	17,70	6,4	14:25	1,02	1,16	16,40	6,5	14:45	1,22	1,47	16,50	6,3
27/08/14	15:30	1,02	1,20	19,30	6,5	15:50	0,90	1,07	17,20	6,6	16:20	1,13	1,30	20,60	6,5
30/08/14	13:20	0,78	1,03	19,60	6,7	13:40	1,47	1,58	18,70	6,6	14:25	0,90	1,19	20,20	6,5
06/09/14	13:30	0,65	0,56	23,30	6,5	13:45	0,71	0,57	17,40	6,5	14:00	1,34	1,17	19,50	6,4
13/09/14	12:25	0,54	0,80	22,20	6,5	12:40	0,83	0,61	21,10	6,5	13:00	0,88	1,26	22,30	6,4
20/09/14	12:15	0,73	1,00	20,80	6,5	12:30	0,38	0,60	19,10	6,6	12:50	1,09	1,33	20,20	6,4
27/09/14	11:20	0,49	0,64	17,90	6,6	11:40	0,83	0,96	16,90	6,6	12:00	1,04	1,19	17,90	6,5
04/10/14	11:45	0,31	0,48	17,90	6,8	11:55	0,78	0,96	16,20	6,6	12:20	1,18	1,33	16,50	6,5
11/10/14	13:35	0,73	0,65	23,30	6,7	13:45	0,86	0,84	22,40	6,5	14:00	0,74	0,95	28,70	6,6
18/10/14	11:05	0,21	0,37	21,80	6,7	11:30	0,46	0,65	21,30	6,6	MEDIÇÃO NÃO REALIZADA				
25/10/14	12:30	0,91	1,06	22,80	6,7	12:46	0,95	1,12	22,10	6,5	13:05	0,69	0,89	23,20	6,4
01/11/14	10:50	0,27	0,50	24,70	6,6	11:05	0,68	0,84	24,10	6,6	11:20	0,73	0,89	24,80	6,5
08/11/14	12:00	0,58	0,79	22,80	6,7	12:05	0,62	0,79	21,70	6,5	12:20	0,72	0,95	22,80	6,5
15/11/14	11:25	0,63	0,78	20,90	6,7	11:35	0,83	0,96	18,70	6,7	11:50	0,90	1,05	18,60	6,6
24/11/14	12:45	0,56	0,77	28,40	6,4	13:00	0,97	1,18	24,30	6,5	13:15	0,95	1,13	23,90	6,5
29/11/14	13:35	0,71	0,90	24,10	6,8	13:50	0,54	0,70	23,40	6,6	12:10	0,59	0,77	24,50	6,6
06/12/14	10:40	0,45	0,64	22,60	6,7	10:55	0,62	0,76	21,60	6,6	10:25	0,22	0,38	21,30	6,5
14/12/14	10:25	0,30	0,49	24,20	6,0	10:40	0,06	0,26	22,60	6,2	11:00	0,76	1,21	22,80	6,1

**APÊNDICE B – Dados Coletados nas Medições no Bairro Campo
Comprido**

DADOS COLETADOS															
Bairro:		Campo Comprido													
Data	Ponto 1				Ponto 2				Ponto 3						
	Hora	Cloro Livre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	Hora	Cloro Livre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	Hora	Cloro Livre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)	Temperatura (°C)	pH
06/08/14	17:20	1,45	1,58	17,80	7,3	17:40	1,43	1,55	17,20	7,4	15:30	0,01	0,05	27,60	7,1
07/08/14	MEDIÇÃO NÃO REALIZADA				MEDIÇÃO NÃO REALIZADA				07:40	1,18	1,31	14,80	7,4		
09/08/14	12:10	1,45	1,58	17,70	7,5	10:30	1,41	1,56	16,60	7,6	10:50	1,01	1,16	17,30	7,5
16/08/14	12:20	1,39	1,52	16,80	7,3	12:00	1,16	1,30	15,90	7,2	11:50	0,89	1,05	17,20	7,3
30/08/14	12:55	1,39	1,49	19,20	7,3	12:20	1,30	1,26	17,30	7,4	12:35	1,02	1,00	19,10	7,5
06/09/14	11:00	1,19	1,35	17,70	7,3	10:50	1,06	1,31	17,60	7,2	10:35	0,92	1,05	18,70	7,3
13/09/14	12:00	1,16	1,33	20,70	7,3	11:45	0,98	1,18	20,10	7,3	11:30	0,94	1,12	21,70	7,3
20/09/14	12:00	1,25	1,49	20,00	7,4	11:40	0,84	1,03	19,70	7,4	11:30	0,93	1,14	20,20	7,4
27/09/14	11:00	1,20	1,35	18,70	7,3	10:40	1,15	1,31	17,80	7,2	10:20	1,03	1,16	18,90	7,3
04/10/14	11:22	1,13	1,35	18,30	7,2	11:05	1,00	1,17	17,20	7,3	10:55	0,73	1,08	18,50	7,2
11/10/14	13:25	1,30	1,44	25,70	7,3	13:05	1,24	1,05	22,40	7,2	12:40	0,99	1,08	23,90	7,3
18/10/14	10:40	1,21	1,43	21,70	7,4	10:50	1,25	1,43	21,20	7,3	10:25	0,83	1,00	21,30	7,4
25/10/14	12:00	1,21	1,38	22,20	7,3	12:15	0,93	1,18	22,10	7,3	11:45	0,80	1,07	23,50	7,4
01/11/14	10:20	1,05	1,22	24,70	7,4	10:30	0,89	1,06	24,30	7,4	10:05	0,78	0,98	26,60	7,3
08/11/14	11:25	1,23	1,41	22,30	7,4	10:00	0,95	1,28	22,10	7,5	11:05	0,79	0,97	22,90	7,4
15/11/14	10:50	1,31	1,46	21,30	7,4	MEDIÇÃO NÃO REALIZADA				10:45	0,80	0,95	19,90	7,3	
24/11/14	11:20	0,90	1,35	23,00	7,4	11:40	1,23	1,47	22,80	7,3	18:20	1,04	1,18	26,20	7,5
29/11/14	13:00	1,27	1,48	24,40	7,4	13:15	0,92	1,10	23,10	7,5	18:25	1,23	1,37	23,60	7,4
06/12/14	12:30	1,23	1,39	22,70	7,4	12:40	1,09	1,30	21,80	7,3	12:10	1,04	1,22	23,50	7,3

APÊNDICE C – Dados Coletados nas Medições no Bairro Portão

DADOS COLETADOS															
Bairro:						Portão									
Data	Ponto 1					Ponto 2					Ponto 3				
	Hora	Cloro Livre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	Hora	Cloro Livre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	Hora	Cloro Livre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)	Temperatura (°C)	pH
02/08/14	17:40	0,87	1,06	23,50	6,5	17:20	1,03	1,55	18,30	6,4	17:00	1,11	1,73	19,90	6,4
09/08/14	17:30	0,53	0,71	19,10	6,4	17:50	1,51	1,64	17,30	6,5	18:20	1,31	1,63	17,20	6,5
16/08/14	13:35	0,91	1,07	17,70	6,1	13:20	1,30	1,50	16,50	6,6	12:45	1,35	1,49	16,70	6,6
30/08/14	14:50	0,91	1,12	24,30	6,5	15:06	1,47	1,35	19,10	6,5	15:17	1,50	1,56	20,30	6,5
06/09/14	13:10	1,11	1,29	23,30	6,4	MEDIÇÃO NÃO REALIZADA					14:35	1,30	1,15	21,80	6,3
13/09/14	13:50	0,57	0,81	28,30	6,3	14:15	1,16	1,13	22,90	6,4	14:30	1,18	1,03	22,20	6,4
20/09/14	13:10	0,41	0,57	21,60	6,4	13:25	1,30	1,50	19,90	6,4	13:40	1,20	1,42	20,80	6,3
27/09/14	12:25	0,84	0,90	18,30	6,4	MEDIÇÃO NÃO REALIZADA					12:55	1,21	1,39	18,70	6,4
04/10/14	12:50	1,18	1,34	17,80	6,6	13:05	1,16	1,40	18,70	6,5	13:20	1,09	1,33	17,80	6,5
11/10/14	14:20	0,95	1,14	30,30	6,6	14:40	1,10	1,28	24,90	6,7	14:55	0,90	1,05	26,30	6,6
18/10/14	09:10	1,01	1,19	23,30	6,5	09:00	1,08	1,26	22,80	6,4	08:45	1,12	1,31	24,10	6,7
25/10/14	13:20	0,76	1,08	27,00	6,4	13:40	0,24	0,49	23,50	6,4	13:50	1,03	1,16	22,80	6,3
01/11/14	12:20	0,50	0,79	31,90	6,5	12:05	1,11	1,42	26,60	6,5	11:45	0,92	1,34	27,80	6,6
08/11/14	12:42	0,83	0,99	25,40	6,4	13:35	0,85	1,11	22,60	6,5	13:15	0,81	1,00	23,20	6,5
15/11/14	12:05	0,74	0,90	20,70	6,4	12:20	0,93	1,09	20,70	6,5	12:35	0,93	1,08	22,10	6,5
24/11/14	12:45	0,56	0,77	28,40	6,4	13:00	0,97	1,18	24,30	6,5	13:15	0,95	1,13	23,90	6,5
29/11/14	14:30	0,56	0,78	28,30	6,5	14:50	0,86	1,09	23,70	6,5	15:05	0,75	0,94	23,70	6,5
06/12/14	09:40	0,53	0,71	22,10	6,7	MEDIÇÃO NÃO REALIZADA					10:05	0,66	0,91	24,20	6,5
14/12/14	11:15	0,36	0,65	26,50	6,1	11:30	1,11	1,30	24,50	6,1	11:45	0,90	1,11	24,80	6,1

APÊNDICE D – Dados Coletados nas Medições no Bairro São Braz

DADOS COLETADOS															
Bairro:		São Braz													
Data	Ponto 1				Ponto 2				Ponto 3						
	Hora	Cloro Livre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	Hora	Cloro Livre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)	Temperatura (°C)	pH	Hora	Cloro Livre (mg/L)	Cloro Total (mg/L)	Temperatura (°C)	pH
06/08/14	16:00	1,50	1,35	20,0	7,4	16:25	1,43	1,33	17,8	7,5	17:00	0,35	1,60	18,1	7,3
09/08/14	11:30	1,24	1,39	18,1	7,5	11:45	1,33	1,30	17,0	7,8	11:20	1,02	1,18	16,2	7,5
16/08/14	11:15	1,21	1,36	17,8	7,2	11:30	1,23	1,37	15,9	7,4	11:00	1,16	1,38	15,9	6,8
30/08/14	11:45	1,24	1,40	20,6	7,5	12:00	1,30	1,26	17,6	7,5	11:36	1,26	1,42	19,2	7,5
06/09/14	10:35	1,13	1,31	18,3	7,3	10:20	1,11	1,28	19,4	7,4	10:00	0,85	1,04	16,3	7,4
13/09/14	11:05	1,27	1,46	20,9	7,3	11:15	1,26	1,43	21,7	7,5	10:40	1,38	1,55	20,8	7,3
20/09/14	11:00	1,21	1,40	20,2	7,3	11:10	1,04	1,22	19,8	7,6	10:40	1,15	1,35	19,2	7,3
27/09/14	09:45	1,14	1,29	18,6	7,2	10:00	1,11	1,26	17,2	7,3	09:30	1,02	1,21	18,5	7,6
04/10/14	10:25	0,88	1,17	18,6	7,3	10:35	1,00	1,15	16,7	7,4	10:05	0,97	1,16	16,8	7,2
11/10/14	12:15	1,22	1,39	22,7	7,2	12:25	1,16	1,34	27,7	7,4	11:50	0,73	0,94	24,8	7,3
18/10/14	10:00	1,14	1,32	21,2	7,4	10:10	0,90	1,28	21,7	7,6	09:40	1,15	1,33	21,8	7,2
25/10/14	11:17	1,07	1,25	22,3	7,3	11:30	0,92	1,24	23,4	7,5	11:00	0,89	1,20	26,3	7,1
01/11/14	09:35	0,87	1,04	23,5	7,3	09:45	0,90	1,14	26,3	7,5	09:20	0,82	0,99	23,7	7,2
08/11/14	10:35	1,14	1,33	23,6	7,4	10:50	1,19	1,35	20,9	7,6	10:20	0,97	1,31	24,0	7,5
15/11/14	10:20	1,14	1,30	21,8	7,4	10:30	1,24	1,40	18,6	7,5	MEDIÇÃO NÃO REALIZADA				
24/11/14	10:35	1,08	1,33	22,8	7,3	10:45	1,15	1,36	23,8	7,5	10:20	1,06	1,29	22,8	7,0
29/11/14	12:30	1,13	1,32	24,5	7,5	12:35	1,16	1,37	26,7	7,6	12:00	0,79	1,26	23,2	7,5
06/12/14	11:40	1,10	1,29	23,6	7,4	11:50	1,15	1,28	21,1	7,4	11:20	1,08	1,25	23,2	7,4